

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA
ENXUTA (*LEAN MANUFACTURING*) NA INDÚSTRIA
AERONÁUTICA**

Taubaté – SP

2004

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA
ENXUTA (*LEAN MANUFACTURING*) NA INDÚSTRIA
AERONÁUTICA**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional do Departamento de Economia, Contabilidade e Administração da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Gestão de Recursos
Socioprodutivos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pascoal Del'Arco Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Cyro Alves Borges Junior

Taubaté – SP

2004

Ficha catalográfica elaborada pelo

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

L745i Lindgren, Paulo Cesar Corrêa

Implementação do sistema de manufatura enxuta (Lean Manufacturing) na indústria aeronáutica / Paulo Cesar Corrêa Lindgren. - - Taubaté: UNITAU, 2004.

302f. : il.

Orientador: Antonio Pascoal Del'Arco Júnior

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté, Departamento de Economia, Contabilidade e Administração , 2004.

1. Aeronáutica - Indústria. 2. Aviação regional. 3. Manufatura enxuta. 4. Lean manufacturing. 5. Airbus – Boeing. 6. Desenvolvimento regional e tecnológico – Dissertação. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Economia, Contabilidade e Administração. II. Del'Arco Júnior, Antonio Pascoal (orient.). IV. Título.

PAULO CESAR CORRÊA LINDGREN

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA ENXUTA (LEAN
MANUFACTURING) NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ, TAUBATÉ, SP

Data: 27 de fevereiro de 2004

Resultado: Aprovado.

COMISSÃO JULGADORA

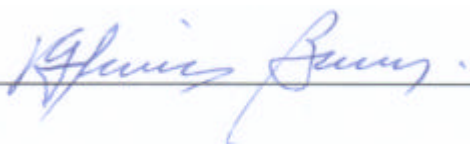
Prof. Dr. Antonio Pascoal Del'Arco Junior – Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura



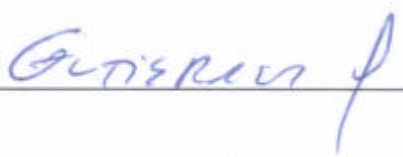
Prof. Dr. José Glênio Medeiros de Barros - Universidade de Taubaté - UNITAU

Assinatura



Prof. Dr. Rubén Huamanchumo Gutierrez – Universidade Federal Fluminense - UFF

Assinatura



Dedico este trabalho à minha amada família,
à minha mãe, Maria Corrêa Lindgren, terna
inspiração de maternal educadora, e à
memória de meu querido pai, Paulo de Freitas
Lindgren, que não mediu esforços para deixar
a seus filhos o seu maior legado, que nunca
poderá ser subtraído ou dilapidado: a fórmula
do equilíbrio entre a Ciência e a Religião, o
grande apreço pelo saber humanizado e o
zelo pela imaculada integridade do caráter.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antonio Pascoal Del'Arco Junior, grande amigo e admirável exemplo de superação de obstáculos pessoais, pela orientação brilhante, segura e amistosa.

Ao Prof. Dr. Cyro Alves Borges Junior, por sua amizade e dedicação ao ensino do Sistema *Lean Manufacturing* integrado à Filosofia dos Sistemas de Manufatura.

Ao Prof. Dr. Edson Aparecida Araújo Querido Oliveira, pela sincera amizade e grande inspiração pessoal, acadêmica e profissional.

Ao Prof. Dr. José Glenio Medeiros de Barros, por sua amizade e grande disposição na orientação de alunos e professores "iniciantes".

Ao Prof. Dr. Francisco Cristóvão Lourenço de Melo, por sua amizade e brilhantismo na indicação dos caminhos a seguir.

Ao Prof. Dr. José Luis Gomes da Silva, por sua amizade e seu espírito de colaboração, indicando falhas e omissões onde nunca suspeitávamos que existissem.

À Prof. Dra. Maria Júlia Ferreira Xavier Ribeiro, por sua amizade e sua inspiração na busca pelo equilíbrio entre o raciocínio puramente técnico e a intelectualidade acadêmica.

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Chamon, por sua amizade e pela nobre inspiração no uso da síntese objetiva e inteligente.

À Prof. Dra. Edna Maria Querido de Oliveira Chamon, por sua amizade e sua sempre presente disposição para aconselhar-nos em nossas etapas mais difíceis.

Aos professores e funcionários da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade de Taubaté, pelo apoio e amizade conferidos durante todo o período de estudos no Mestrado em Gestão de Recursos Socioprodutivos.

Aos alunos da disciplina *Lean Manufacturing* do Curso de MBA em Gerência de Produção e Tecnologia da Unitaú, por seus questionamentos sempre produtivos.

À Divisão de Certificação Aeronáutica do IFI – CTA, pelo estímulo ao aperfeiçoamento constante do binômio Profissão-Estudo, vital para a consecução deste trabalho.

À Universidade de Taubaté, pela capacidade de integração de seu mestrando em um ambiente que é a extensão de sua própria família.

Aos amigos do Mestrado, pelo apoio e motivação constantes.

Agradeço especialmente à minha amada esposa Regina e às minhas queridas filhas Marília e Ana Carla, que suportaram com resignação e marcante espírito de renúncia o meu encarceramento nos estudos. Pelo grande amor e excelente companheirismo desta minha família, sou profundamente grato.

E por último, mas não menos importante, agradeço a Deus, na pessoa do Espírito Santo, que tem estado sempre presente em todos os momentos de minha vida.

LINDGREN, Paulo Cesar Corrêa. **Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) na Indústria Aeronáutica**. 2004, 302f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

Pura e simplesmente, a Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, se constitui em reduzir o tempo compreendido entre o pedido do cliente e a fabricação e entrega dos produtos, por meio da eliminação de desperdícios, que não adicionam valor, existentes no fluxo produtivo. Este trabalho visa explicar, por meio de uma pesquisa global efetuada com as principais indústrias aeronáuticas da atualidade, como os princípios da Manufatura Enxuta foram efetivamente adotados para o ramo da indústria aeroespacial dedicado à fabricação de aeronaves para o mercado de transporte aéreo regional, e como eles estão sendo incorporados por estas empresas pesquisadas, também avaliando o que tem sido feito para se preparar, com sucesso, o caminho para a sua implementação. Buscou-se também confirmar a premissa básica levantada quando da execução do trabalho que serviu de base para este (LINDGREN, 2001), a de que a implementação bem sucedida requer, em primeiro lugar e acima de tudo, um firme comprometimento da alta administração, com uma completa adesão à cultura de busca e eliminação racional de desperdícios. Focalizando nos resultados positivos dos passos rumo à consolidação do Sistema de Manufatura Enxuta nos principais fabricantes de aeronaves regionais da atualidade, foram obtidas importantes informações sobre o desenvolvimento e a incorporação de novas técnicas de manufatura aeronáutica, como a Montagem Final em Linha Móvel, adotada em larga

escala pela norte-americana Boeing e em caráter parcial pela européia Airbus, e a Montagem Final em Docas, adotada pela brasileira Embraer; sendo que estes princípios revolucionários, que parecem ser estrategicamente conflitantes, têm suas raízes na solução de diferentes problemas para se atingir o objetivo comum a todas estas empresas: o atendimento das necessidades de seus clientes com a maior eficiência e o menor desperdício possíveis. Finalizando, não se pode deixar de mencionar que este estudo também tem por objetivo didático a familiarização do leitor com a classe de indústrias aeronáuticas que, a exemplo da Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica, tradicionalmente fabricam um produto de alta tecnologia, em cadência relativamente baixa e com altíssimo valor agregado, utilizando sistemas de manufatura extremamente especializados e já comprovados historicamente.

Palavras-chave: Aeronáutica, Aeroespacial, Airbus, Aviação Regional, Boeing, Bombardier, Embraer, Indústria Aeronáutica, *Lean Enterprise*, *Lean Manufacturing*, Manufatura Aeronáutica, Manufatura Enxuta.

LINDGREN, Paulo Cesar Corrêa. **Lean Manufacturing Implementation in the Aeronautical Industry**. 2004, 302 p. Thesis (Master Degree in Management and Regional Development) – Department of Economics, Accounting and Administration, University of Taubaté, Taubaté, BRAZIL.

ABSTRACT

Pure and simple, Lean Manufacturing is reducing the time from customer order to manufacturing and delivering products by eliminating nonvalue added waste in the production stream. This study seeks to explain, thru a global research issued to the main aeronautical industries in the world, how the Lean Manufacturing principles were effectively adopted for the aerospace industry sector dedicated to the regional aircraft market, and how they have been incorporated by these evaluated enterprises, aiming also to evaluate what has been done to successfully pave the way for its implementation. It is also intended to confirm, via this work, the basic premises raised when the monograph (LINDGREN, 2001) that served as baseline for this work was written, the assumption that a successful implementation requires, first and above, a firm compromise of the upper management with a complete adhesion to the *muda* seeking-and-elimination culture. Focusing on the positive results of the steps towards the Lean Manufacturing System consolidation in the main regional aircraft manufacturing industries worldwide, some important information has been obtained about the aeronautical manufacturing new techniques development and implementation, like the Moving Line Final Assembly, adopted largely by the north-american Boeing, and partially by the european Airbus, and the Final Assembly in a Docking Layout, adopted by the brasilian Embraer, although these revolutionary

principles, apparently conflicting in strategy, have their roots in the solution of different problems to achieve a common objective to all these companies: to fulfill the customer needs with the highest efficiency and the lowest possible waste. Finally, it cannot be forgotten that this study also has the didactical purpose of making the reader more acquainted with the aeronautical class of industries that, taking Embraer – Empresa Brasileira de Aeronautica as an example, traditionally produces a high technology leading-edge product, in a relatively low rate and with an very high added value, using already proved extremely specialized manufacturing systems.

Keywords: Aeronautics, Aerospace, Airbus, Regional Aviation, Boeing, Bombardier, Embraer, Aeronautical Industry, Lean Enterprise, Lean Manufacturing, Aeronautical Manufacturing.

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT.....	08
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE FIGURAS	16
GLOSSÁRIO E SIGLAS UTILIZADAS	20
1 INTRODUÇÃO	47
1.1 O Sistema de Manufatura Enxuta (<i>Lean Manufacturing</i>).....	47
1.2 Objetivo do Trabalho.....	48
1.3 A Implementação da Manufatura Enxuta nas Indústrias Aeronáuticas.....	49
1.4 Delimitação do Estudo	50
1.5 Relevância do Estudo	51
1.6 Estrutura do Trabalho	53
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	56
2.1 A Evolução dos Conceitos de Manufatura Aeronáutica.....	56
2.1.1 As Origens da Classificação pela Forma.....	67
2.1.2 A Construção Metálica.....	75
2.1.3 A Construção Aeronáutica Moderna	84
2.2 As Principais Características da Manufatura Aeronáutica.....	90
2.2.1 O Mercado Mundial de Transporte Aéreo Regional.....	94
2.2.2 Situação Atual e Perspectivas do Mercado de Transporte Regional e <i>Commuters</i>	98
2.2.3 As Atuais Tendências de Inovação e a Indústria Aeronáutica	100
2.2.4 Divisão Clássica das Aeronaves em Subconjuntos para Fabricação e Montagem	104
2.2.5 A Globalização da Produção e do Fornecimento de Materiais, Peças e Componentes Aeronáuticos	109
2.2.5.1 A Evolução do Setor e seu Caráter de Dependência em	

Relação ao Exterior	109
2.3 Os Princípios do Sistema de Manufatura Enxuta	112
2.3.1 Um Breve Histórico da Manufatura Enxuta.....	112
2.3.2 Principais Conceitos e Definições	118
2.3.2.1 Os Conceitos Básicos	123
2.3.2.2 O Pensamento Enxuto e Seus Princípios	126
2.3.3 Mapeamento do Fluxo do Valor.....	130
2.3.3.1 O Fluxo do Valor	131
2.3.3.2 Fluxos do Material e da Informação	132
2.3.3.3 O Gerente do Fluxo do Valor.....	133
2.3.3.4 Usando a Ferramenta Mapeamento.....	134
2.3.3.5 Desenhando o Mapa do Estado Atual.....	135
2.3.3.6 O Que Torna Enxuto Um Fluxo do Valor	137
2.3.3.7 Características de Um Fluxo Enxuto do Valor	138
2.3.3.8 O Mapa do Estado Futuro	143
2.3.3.9 Atingindo o Estado Futuro	145
2.3.3.10 Responsabilidade da Administração	147
2.3.4 A Implementação da Empresa Enxuta (<i>Lean Enterprise</i>).....	147
2.3.4.1 Reestruturando a Organização	149
2.3.4.2 Uma Proposta para a Gestão Enxuta do Efetivo (Pessoal).....	150
2.3.5 A Operacionalização das Diretrizes para a Produção Enxuta.....	153
2.4 As Características Principais da Empresa Enxuta (<i>Lean Enterprise</i>)	155
2.4.1 Efeitos sobre os Recursos Humanos e a Organização	157
2.4.2 A Manufatura Enxuta e o Desenvolvimento de Competitividade e Inovação Tecnológica.....	163
2.4.3 A Empresa Enxuta, o Sistema de Manufatura Enxuta e a Indústria Aeronáutica.....	166

2.4.3.1 <i>LEM</i> - O Modelo para Empresas Enxutas (<i>Lean Enterprise Model</i>)	166
2.4.3.2 O que é o <i>LEM</i> - Suas Origens e Conceitos	167
2.4.3.3 Representação Gráfica do <i>LEM</i>	168
2.4.3.4 Entendendo o <i>LEM</i>	170
3 PROPOSIÇÃO	172
4 METODOLOGIA	176
4.1 Tipo de pesquisa	177
4.2 Universo e amostra	179
4.3 Coleta de dados	180
4.4 Tratamento dos dados	180
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	182
5.1 Introdução	182
5.2 AIRBUS	182
5.2.1 Origens	182
5.2.2 Organização Corporativa	183
5.2.3 A Família Airbus de Jatos Regionais - A320 (A318, A319, A320 e A321)	185
5.2.4 Inovações Tecnológicas na Airbus	188
5.2.5 Logística e Manufatura	189
5.2.6 Iniciativa <i>Lean</i> na Airbus	192
5.3 BOEING	198
5.3.1 Origens	198
5.3.2 Fabricação e Montagem de Aeronaves nos Dias Atuais	198
5.3.2.1 Projeto e Desenvolvimento na Boeing	199
5.3.2.2 Estruturas	199
5.3.2.3 Motores Aeronáuticos	200

5.3.2.4	Aviônicos	200
5.3.2.5	Sindicatos de Trabalhadores	200
5.3.2.6	Companhias Aéreas	201
5.3.3	Principais Plantas Atuais da Boeing	201
5.3.3.1	Planta de Manufatura dos Boeing 747, 767 e 777	201
5.3.3.2	Planta de Manufatura dos Boeing 737 e 757	204
5.3.3.3	Boeing Divisão Long Beach (antiga McDonnell Douglas)	205
5.3.3.4	Planta de Manufatura Boeing Wichita	206
5.3.4	Iniciativa <i>Lean</i> na Boeing	206
5.3.4.1	A Origem da Revolução: Uma Linha Reta para Cortar o Tempo de Montagem	208
5.3.4.2	Demanda de Mercado	210
5.3.4.3	A Mentalidade Enxuta (<i>Lean Thinking</i>)	211
5.3.4.4	Uma Longa Linha Enxuta	216
5.3.4.5	A Abordagem da Boeing: Envolvimento dos Empregados	226
5.3.4.6	O Fluxo do Valor na Visão da Boeing	227
5.3.4.7	As Ferramentas da Boeing	229
5.3.5	Resultados Imediatos	232
5.3.6	Resultados Estratégicos	235
5.3.7	Excelência na Montagem do 7E7	236
5.4	BOMBARDIER	237
5.4.1	Origens da Bombardier Aerospace	237
5.4.2	Aeronaves Regionais da Bombardier	238
5.4.3	Características de Fabricação e Montagem na Bombardier	241
5.4.4	Iniciativas <i>Lean</i> na Bombardier	245
5.5	EMBRAER.....	249
5.5.1	Origens da Embraer.....	249

5.5.1.1 Unidades Fabris da Embraer.....	250
5.5.1.2 Parcerias Estratégicas.....	253
5.5.2 A Nova Família Jatos Regionais - EMBRAER 170, 175, 190 e 195	254
5.5.3 Características de Fabricação e Montagem na Embraer	256
5.5.4 Iniciativas <i>Lean</i> na Manufatura Embraer.....	260
5.5.5 O Sistema de Montagem Final em Docas.....	267
5.6 JAPÃO.....	272
5.6.1 Iniciativas <i>Lean</i> na Indústria Aeronáutica Japonesa.....	276
5.7 CHINA.	277
5.7.1 A Presença da Boeing na China.	280
5.7.2 A Presença da Embraer na China.....	281
5.7.3 Iniciativas <i>Lean</i> na Indústria Aeronáutica Chinesa.	283
5.8 RÚSSIA.	284
5.8.1 Iniciativas <i>Lean</i> na Indústria Aeronáutica Russa.....	288
6 CONCLUSÕES.....	291
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	294
ANEXOS.....	298
Anexo 1 - Questionário Simplificado.....	298
Anexo 2 - Norma SAE J4000 - Identificação e Medição das Melhores Práticas na Implementação da Operação <i>Lean</i> (<i>Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation</i>)	300
Anexo 3 - Norma SAE J4001 - Implementação da Operação <i>Lean</i> - Manual do Usuário (<i>Implementation of Lean Operation - User Manual</i>).....	301

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Parceiros e Fornecedores do Programa CRJ900	245
Tabela 2 – Resultados <i>Lean</i> no Ciclo de Produção e na Produtividade	264

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demoiselle Modelo N ^o . 20	60
Figura 2 – Demoiselle Modelo N ^o . 20 sendo transportado.....	60
Figura 3 – Componentes Estruturais da Asa.....	62
Figura 4 – Fabricação Artesanal de Aeronaves em 1914	65
Figura 5 – Costura do Revestimento das Asas na Década de 20	66
Figura 6 – Cobertura das Asas com Tecido na Época da Primeira Guerra Mundial.....	66
Figura 7 – Classificação Quanto à Quantidade e Posição das Asas.....	68
Figura 8 – Classificação Quanto à Projeção da Asa em Planta	69
Figura 9 – Estrutura Tubular	70
Figura 10 – Estrutura Monocoque	71
Figura 11 – Estrutura Semi-Monocoque	71
Figura 12 – Comparação entre o North American T-6 e o Fouga Magister	73
Figura 13 – Montagem das Asas do Caça-Bombardeiro Britânico Mosquito	77
Figura 14 – Desmoldagem de Metade da Fuselagem de Madeira do Mosquito.....	77
Figura 15 – Uso de Madeira Favoreceu o Emprego de Mão-de-Obra Não-Especializada	78
Figura 16 – Um Mosquito em Fase de Montagem Final e Acabamento	78
Figura 17 – Três-Vistas e Fotografia do Caça North American P-51 B	

Mustang	83
Figura 18 – Vista em Corte do North American P-51 D Mustang	84
Figura 19 – Distribuição, por Massa, de Materiais Estruturais nos Boeing 747 e 777	85
Figura 20 – Método de Construção de Revestimento Trabalhante Utilizado na Fuselagem do Airbus A340	86
Figura 21 – Materiais Estruturais do Eurofighter 2000	87
Figura 22 – Distribuição, por Percentagem de Massa, dos Materiais Estruturais no Eurofighter 2000.....	88
Figura 23 – Desenho Ilustrativo da Operação de uma Rebitadeira Automática.....	103
Figura 24 – Rebitadeiras Automáticas em Operação na Linha de Montagem do 737 e BBJ	103
Figura 25 – O Fluxo do Processo Produtivo e do Valor Agregado	107
Figura 26 – Visão Geral do Processo de Manufatura Aeronáutica.....	108
Figura 27 – Montagem Final em Linha dos ERJ-145.....	108
Figura 28 – Índice de Nacionalização (% do Custo Final da Aeronave)	111
Figura 29 – Mapa para a Implementação da Produção Enxuta.....	117
Figura 30 – Representação Gráfica dos Sete Desperdícios Originais	126
Figura 31 – O Fluxo do Valor	131
Figura 32 – Fluxos do Material e da Informação.....	133
Figura 33 – Gerenciando o Fluxo do Valor	134
Figura 34 – Estratégia de Mapeamento	135
Figura 35 – Exemplo de Mapa do Estado Atual da Antiga Linha do Boeing 737	137
Figura 36 – <i>Takt & Cycle Times</i>	139
Figura 37 – Exemplo de Mapa do Estado Futuro para a Nova Linha do	

Boeing 737	145
Figura 38 – Sistema Sugerido por Ward para o Tratamento dos Desperdícios Recentemente Identificados.....	159
Figura 39 – Fatores Determinantes da Competitividade da Indústria.....	164
Figura 40 – <i>The Lean Enterprise Model (LEM)</i> – Modelo para Empresa Enxuta.....	169
Figura 41 – Transição das Operações de Produção para os Princípios <i>Lean</i>	171
Figura 42 – Modelo de Visão <i>Lean</i> Automotiva.....	173
Figura 43 – Quantidade Típica de Assentos para a Família Airbus A320 – o A318	186
Figura 44 – Quantidade Típica de Assentos para a Família Airbus A320 – o A319	186
Figura 45 – Quantidade Típica de Assentos para a Família Airbus A320 – o A320	186
Figura 46 – Quantidade Típica de Assentos para a Família Airbus A320 – o A321	187
Figura 47 – Logística Externa – Ciclo de Transporte Aéreo das Seções de um A340	190
Figura 48 – Parcerias – Divisão em seções de uma aeronave A340-300.....	190
Figura 49 – Carregamento de uma Seção da Fuselagem de um A318 em um A300-600ST.....	191
Figura 50 – Montagem das Asas em Linha Móvel – Planta de Broughton.....	197
Figura 51 – Montagem em <i>layout</i> tradicional, de baias inclinadas (vagas de garagem).....	215
Figura 52 – Antes da Implementação da Manufatura Enxuta – montagem em <i>layout</i> tradicional	215
Figura 53 – Montagem Final em Linha Móvel - 717	216
Figura 54 – Construção da fundação da linha móvel	217

Figura 55 – A corrente de aço forjado	218
Figura 56 – Motor elétrico que traciona a corrente.....	218
Figura 57 – Os dispositivos são ligados aos trilhos-guia	219
Figura 58 – Os dispositivos existentes são retrabalhados com pinos	220
Figura 59 – Depois da Implementação da Manufatura Enxuta – montagem em linha móvel	222
Figura 60 – Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – Fluxo Unitário e Sistema Puxado.....	227
Figura 61 – Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – <i>Takt Time</i>	228
Figura 62 – Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – Estágios de Fabricação	228
Figura 63 – Mapeamento do Fluxo do Valor para a Antiga Linha do 737	230
Figura 64 – Mapeamento do Fluxo do Valor para a Linha Móvel do 737	231
Figura 65 – Linha Móvel de Montagem Final do 737	231
Figura 66 – Transição dos 747 para Linha Móvel de Montagem Final.....	232
Figura 67 – Carregamento da seção da fuselagem do CRJ700 em um An-124.....	241
Figura 68 – Seção da fuselagem do CRJ700 já carregada em um An-124	242
Figura 69 – Linha de montagem final da Bombardier, em Montreal	243
Figura 70 – Montagem do protótipo do CRJ900 na fábrica da Bombardier	244
Figura 71 – EMBRAER 170 (ERJ 170-100) – 69 a 78 assentos	254
Figura 72 – EMBRAER 175 (ERJ 170-200) – 78 a 86 assentos	254
Figura 73 – EMBRAER 190 (ERJ 190-100) – 98 a 110 assentos	255
Figura 74 – EMBRAER 195 (ERJ 190-200) – 108 a 114 assentos	255
Figura 75 – Processo de Manufatura Aeronáutica – ERJ-145.....	258
Figura 76 – Empresas Parceiras nos EMBRAER 170/175	259
Figura 77 – Origem dos Parceiros no Programa EMBRAER 170/190	259

Figura 78 – Classificação dos Itens em Categorias	261
Figura 79 – Foco no Projeto Manufatura Enxuta.....	262
Figura 80 – Estratégia de Implantação	263
Figura 81 – <i>Wing Stub</i> – ERJ-145	265
Figura 82 – <i>Kit</i> de peças do <i>Wing Stub</i>	265
Figura 83 – Melhorias na Fabricação do Revestimento da Fuselagem.....	266
Figura 84 – Melhorias nas Áreas de Carenagem e Amortecedor.....	266
Figura 85 – Melhorias nas Áreas de Cablagens e Cavernas.....	267
Figura 86 – Antigo <i>layout</i> de montagem em linha – ERJ-145.....	269
Figura 87 – Montagem Final em Docas – vista superior - EMBRAER 170/190	269
Figura 88 – Montagem Final em Docas – vista lateral - EMBRAER 170/190	270
Figura 89 – Visão Geral das Docas de Montagem - EMBRAER 170/190	270
Figura 90 – Montagem das Aeronaves em Docas – EMBRAER 170.....	271
Figura 91 – Visão Artística do Jato Regional Chinês ARJ21	280
Figura 92 – Maquete do Jato Regional An-148	285
Figura 93 – A Família Sukhoi-Ilyushin RRJ	287

GLOSSÁRIO E SIGLAS UTILIZADAS

Agente de Mudança — Uma pessoa cuja missão é de causar a mudança do estado atual, por exemplo, de lote e fila para o estado ideal futuro: a manufatura enxuta. Alguém que lidera a mudança cultural numa organização.

Análise Retroativa — Análise do fluxo de um produto através de um conjunto de operações de produção a fim de verificar com que frequência o produto volta para retrabalho e sucata.

Análise de Valor — Avaliação do prazo de entrega total e do tempo que agrega valor para identificar a porcentagem gasta em atividades que agregam valor.

Andon — Um sinal visual. Geralmente é uma luz montada sobre a máquina ou na linha para alertar sobre um problema potencial ou a interrupção do trabalho.

Atividade que Não Agrega Valor — Qualquer atividade que acrescenta custo sem acrescentar valor ao produto ou ao processo.

Autonomação — Tradução da palavra japonesa *Jidoka*. Significa conceder inteligência humana a equipamentos automatizados de modo a permitir que as máquinas detectem a produção de uma única peça defeituosa e suspendam imediatamente seu funcionamento enquanto se solicita ajuda. Esse conceito teve como pioneiro Sakichi Toyoda, no início do século XX, quando ele inventou as máquinas de fiação automáticas que paravam instantaneamente quando uma linha se rompia. Isso

permitia que um operador supervisionasse muitas máquinas sem risco de produzir grandes quantidades de tecido defeituoso.

Autoridade para Parar a Linha — Quando ocorrem anomalias, os operadores têm o poder de interromper o processo e impedir que o defeito ou a variação seja passado adiante.

CAD (*Computer-Aided Design*) – Projeto Auxiliado por Computador.

Cadeia de Valor — Atividades específicas necessárias para projetar, pedir e oferecer um produto específico, da concepção ao lançamento, do pedido à entrega, e da matéria-prima às mãos do cliente.

CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) – Fabricação Auxiliada por Computador.

Carregamento Consolidado — Encaminhamento de um veículo de fornecimento ou entrega para diversas entregas ou carregamentos em locais diferentes.

CATIA (*Computer Aided Tridimensional Interactive Application*) – ferramenta computacional (software de CAD) que permite projetar conjuntos e sistema completos, bem como seus componentes e peças, totalmente com tecnologia 3D. Esta ferramenta é desenvolvida pela empresa francesa Dassault Systèmes, sendo comercializada pela IBM.

CBA-123 – Projeto de uma aeronave turboélice, bimotor *pusher* (com hélices impulsoras montadas em pilones na traseira da fuselagem), para transporte de até 16 passageiros. A denominação CBA significava Cooperação Brasil-Argentina, pois se

tratava de um empreendimento conjunto entre as empresas Embraer e FAMA – *Fábrica Argentina Militar de Aviones*.

Células — *Layout* de diferentes tipos de equipamentos que executam operações diferentes em uma seqüência rígida, geralmente em forma de U, a fim de permitir o fluxo contínuo e o emprego flexível do esforço humano por meio do trabalho polivalente. Comparar com o termo Ilhas de Processo.

Chaku-Chaku — Palavra japonesa que designa o método de realização do fluxo contínuo, no qual o operador procede de máquina em máquina, pegando uma peça da operação anterior e carregando-a na próxima máquina, para em seguida pegar a peça que acaba de retirar da máquina e carregá-la na máquina seguinte, e assim por diante até o término das operações. No idioma original significa, literalmente, "carga-carga".

Cinco “Porquês” — Prática introduzida por Taiichi Ohno, que consiste em se perguntar "por que" cinco vezes em seqüência, toda vez que se encontra diante de um problema, a fim de identificar sua causa básica, para que possa desenvolver e implementar contra-medidas eficazes.

Cinco S (5S) — Disciplina primária e condicionante para o *Kaizen*, este princípio tem sua sigla derivada das iniciais, no idioma original japonês, dos cinco termos que são os objetivos das ações necessárias para se limpar e organizar o local de trabalho de maneira lógica e eficaz (Contador et al, 1998):

- *Seiri* – identificação/segregação e seleção/descarte (senso de utilidade).
Trata-se de separar as ferramentas, peças e instruções desnecessárias das que são efetivamente necessárias, dando um

destino para aquelas que deixaram de ser úteis para aquele ambiente.

- *Seiton* – boa disposição/ordenação (senso de ordem). Significa arrumar e identificar peças e ferramentas, tendo como objetivo a facilidade de uso.
- *Seiso* – limpeza/inspeção diária. Trata-se de eliminar a sujeira, inspecionando para descobrir e eliminar as fontes de problemas. A limpeza deve ser encarada como uma oportunidade de inspeção e de reconhecimento do ambiente.
- *Seiketsu* – higiene/revisar sempre (saúde). Fazer o asseio é conservar a higiene, tendo o cuidado para que os estágios de seleção, ordem e limpeza, já alcançados, não retrocedam. Isto é executado através de padronização de hábitos, normas e procedimentos.
- *Shitsuke* – disciplina/motivação para manter. Ser disciplinado é cumprir rigorosamente as normas e tudo o que for estabelecido pelo grupo. A disciplina é um sinal de respeito ao próximo.

CNC (*Computer Numerically Controlled*) - Comando (ou Controle) Numérico Computadorizado. Também conhecido simplesmente como CN.

Comakership – É a estratégia dirigida ao envolvimento solidário dos fornecedores no complexo empresarial do cliente. Realiza-se através do *just in time* e *free pass*, podendo alcançar inclusive uma integração estratégica de processos e negócios.

Controles Visuais — Criação de padrões no local de trabalho que tornam óbvio se algo estiver fora de ordem. Trata-se, também, da colocação, em um local de ampla

visibilidade, de ferramentas, peças, atividades de produção e indicadores de desempenho do sistema de produção, para que todos os envolvidos possam entender de imediato as condições do sistema. Usado como sinônimo de transparência.

CTA – Centro Técnico Aeroespacial.

Custeio Baseado na Atividade (ABC – *Activity Based Costing*) — Sistema de Contabilidade gerencial que atribui custos a produtos com base no volume de recursos utilizados (incluindo espaço no chão-de-fábrica, horas de utilização de máquina e esforço humano) a fim de projetar, pedir ou fabricar um produto. Comparar com Custeio Padrão.

Custeio Padrão — Sistema de contabilidade gerencial que aloca custos a produtos com base no número de horas-máquina e horas-homem disponíveis em um departamento de produção, durante um determinado período de tempo. Os sistemas de custeio padrão estimulam os gerentes a fabricar produtos desnecessários ou o *mix* de produtos errado, a fim de minimizar o custo por produto através da maximização “artificial” da utilização de máquinas e mão-de-obra. Comparar com Custeio Baseado na Atividade.

Custo-alvo (*Target-cost*) — Custo de desenvolvimento e produção que o produto não pode exceder, caso se deseje que o cliente fique satisfeito com o valor do produto, enquanto o fabricante obtém um retorno aceitável de seu investimento.

Cycle Time – vide Tempo de Ciclo.

Desdobramento da Função Qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*) — Procedimento decisório visual para equipes de projeto com habilidades múltiplas, que desenvolve uma compreensão comum da voz do cliente e um consenso sobre as especificações finais de engenharia do produto com o compromisso da equipe inteira. O QFD integra as perspectivas dos membros da equipe de diferentes disciplinas, garante que seus esforços focalizem a resolução de *trade-offs* importantes de forma consistente em relação a alvos de desempenhos mensuráveis para o produto e desdobra essas decisões por meio de níveis sucessivos de detalhes. O uso de QFD elimina dispendiosos retrofluxos e retrabalhos próximos ao lançamento dos projetos.

DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) - Projeto para Fabricação e Montagem.

Desdobramento da Função Qualidade (QFD – *Quality Function Deployment*) — Metodologia na qual uma equipe multifuncional chega a um consenso quanto às especificações finais do produto, segundo as expectativas do cliente.

Desdobramento de Políticas — Relacionar as metas estratégicas do negócio de uma organização com os seus recursos estratégicos. Comunicar essas metas a toda a organização e conectar todos aos mesmos objetivos.

3Ds - *Dirty, Dangerous, Difficult* - Sujo, Perigoso e Difícil (normalmente classificando um trabalho, uma atividade ou uma tarefa).

EDI (*Electronic Data Interchange*) – Intercâmbio Eletrônico de Dados.

Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.

EMBRAER 170 – Aeronave bimotor, *turbofan*, fabricada pela Embraer, com capacidade para até 70 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional. O EMBRAER 170 é o primeiro modelo de uma nova família de birreatores de transporte lançada em julho de 1999 para satisfazer as necessidades do mercado de aviação comercial. O voo inaugural do EMBRAER 170 aconteceu em 19 de fevereiro de 2002. A nova família, que inclui também o EMBRAER 175, EMBRAER 190 e o EMBRAER 195, está sendo desenvolvida através de um programa multinacional de parcerias de risco. O programa, liderado pela Embraer, prevê investimentos da ordem de 850 milhões de dólares e inclui parcerias com 16 indústrias aeroespaciais de renome mundial.

EMBRAER 175 – Aeronave bimotor, *turbofan*, fabricada pela Embraer, com capacidade para até 78 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional.

EMBRAER 190 – Aeronave bimotor, *turbofan*, fabricada pela Embraer, com capacidade para até 98 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional.

EMBRAER 195 – Aeronave bimotor, *turbofan*, fabricada pela Embraer, com capacidade para até 108 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional.

EMD – (*Engineering and Manufacturing Development*) – Desenvolvimento da Engenharia e da Manufatura.

ERJ 145 – Aeronave bimotor, turbofan, fabricada pela Embraer, com capacidade para até 50 passageiros e dedicada principalmente ao segmento de aviação regional.

ERP (*Enterprise Resource Planning*) – Planejamento dos Recursos da Empresa.

Estoque — Em geral, trata-se da categoria de mais alto custo; o estoque consiste de todas as matérias-primas, peças compradas, estoque de processo e produtos acabados que ainda não foram entregues a um cliente.

Estoque de Material em Processo (WIP – *Work In Process*) — Estoque esperando entre os passos da operação. Trata-se, também, de uma prática de produção em massa através da qual se produzem grandes lotes de uma peça para, em seguida, enviar-se o lote para uma fila de espera, antes da próxima operação no processo de produção. Comparar com Fluxo Contínuo.

Estoque *Standard* de Processo — Necessidade mínima de material para que o operador complete um ciclo de trabalho sem atrasos.

Estratégia Baseada no Tempo — Organização dos objetivos do negócio em torno de princípios de economia de tempo.

Fábrica Balanceada — Uma fábrica onde toda capacidade disponível encontra-se balanceada exatamente com a demanda de mercado.

Fábrica Nova (*greenfield*) — Novo projeto ou fábrica onde os métodos enxutos, da melhor prática, podem ser implementados desde o início. Comparar com Fábrica Velha.

Fábrica Velha (*brownfield*) — Projeto estabelecido ou fábrica que opera com métodos tradicionais de produção em massa e sistema de organização social. Comparar com Fábrica Nova.

Família de Produtos — Grupo de produtos relacionados que podem ser produzidos, de forma intercambiável, em uma célula de produção. O termo tem sido empregado, muitas vezes, de modo análogo a "Plataformas de Produtos".

Ferramenta do Tamanho Certo — Dispositivo de projeto, planejamento ou produção, capaz de se encaixar diretamente no fluxo de produtos dentro de uma família de produtos, de modo que a produção não exija mais transporte e esperas desnecessários. Comparar com o termo Monumento.

Fluxo — Realização progressiva de tarefas, ao longo da cadeia do valor, para que um produto passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria-prima às mãos do cliente, sem interrupções, refugos, retrabalhos ou retrofluxos.

Fluxo Contínuo — Situação na qual os produtos passam, um produto completo de cada vez, por várias operações no projeto, recebimento de pedidos e produção, sem interrupções, retrofluxos ou refugo. Comparar com Estoque em Processo.

Fluxo de Uma Peça — Uma filosofia de manufatura que suporta o movimento do produto de uma estação de trabalho para a seguinte - uma peça de cada vez - sem permitir que aumente o estoque entre as estações.

FOD (*Foreign Object Debris* ou *Foreign Object Damage*) – Dano provocado por Objeto Estranho.

Folha de Combinação de Trabalho *Standard* — Documento que mostra a seqüência de passos da produção designados a um único operador. Utilizado para ilustrar a melhor combinação de operador e máquina.

Free Pass - Autorização para que o produto do fornecedor certificado chegue diretamente à linha, eliminando a inspeção de recebimento.

Gargalo — É um recurso (área ou estação de trabalho) num ambiente de manufatura com capacidade igual ou inferior à demanda, que limita a capacidade de todo o processo.

G&A (*General and Administrative*) – Geral e Administrativo (diz-se de Custos).

Gerência com Livros Abertos (*Open-Book Management*) — Situação na qual todas as informações financeiras relevantes às tarefas de projeto, planejamento e produção são compartilhadas entre todos os funcionários da empresa, bem como entre fornecedores e distribuidores, acima e abaixo, na cadeia de valor.

Gerenciamento de Anomalias — A habilidade de perceber e reagir a uma anormalidade (qualquer violação das operações *standard*) de modo oportuno.

Gerenciamento Visual — Sistema que habilita qualquer pessoa a rapidamente notar anormalidades no local de trabalho, independente de seu conhecimento do processo.

Gráfico Espaguete — Mapa do caminho seguido por um produto específico ao percorrer a cadeia de valor em uma organização de produção em massa, sendo assim

chamado porque a rota percorrida pelo produto lembra, em geral, um prato de espaguete.

Hanedashi — Palavra japonesa que designa o dispositivo que permite que uma máquina automaticamente descarregue uma peça sem precisar esperar pelo operador.

Heijunka — Palavra japonesa que significa Nivelamento da Produção. Criação de uma seqüência determinada por uma programação pela média de demanda do cliente. Trata-se da elaboração de um "cronograma nivelado", por meio do seqüenciamento dos pedidos em um padrão repetitivo e eliminação das variações cotidianas nos pedidos totais, de modo a corresponder à demanda de longo prazo. Por exemplo, se o cliente durante uma semana pedir 200 unidades do Produto A, 200 do Produto B e 400 do Produto C em lotes de 200, 200 e 400 respectivamente, o cronograma nivelado seqüenciaria seu processamento na progressão A, C, B, C, A, C, B, C, A, C... Da mesma forma, se pedidos dos clientes totalizando 1.000 produtos por semana chegassem em lotes de 200 produtos no dia um, 400 no dia dois, zero no dia três, 100 no dia quatro e 100 no dia cinco, o cronograma nivelado produziria 100 por dia e na seqüência A, C, A, B. Considera-se que algum tipo de cronograma nivelado é inevitável em todos os sistemas produtivos, seja de massa ou enxuto, a não ser que a empresa e todos os produtos fabricados em massa tenham capacidade infinita e tempo de troca de máquina igual a zero. No entanto, com o passar do tempo, os adeptos da produção enxuta tendem a criar excesso de capacidade, à medida que liberam recursos, e a trabalhar constantemente na redução do tempo de troca de máquina, para que a discrepância de curto prazo entre o cronograma *heijunka* e a demanda real seja uniformemente diminuída, com a ajuda das vendas niveladas.

HPWO (*High Performance Work Organizations*) - Organizações de Trabalho de Alto Desempenho.

Hoshin Kanri — Termo japonês que designa a ferramenta para tomada de decisões estratégicas pela equipe de executivos de uma empresa, localizando recursos nas iniciativas críticas necessárias para concretizar os objetivos de negócios da companhia. Usando diagramas matriciais semelhantes aos empregados no desdobramento da função qualidade, selecionam-se de três a cinco objetivos-chave e desselecionam-se todos os outros. Os objetivos selecionados são traduzidos em projetos específicos e desdobrados até o nível de implementação na empresa. *Hoshin Kanri* unifica e alinha os recursos e estabelece alvos claramente mensuráveis, em relação aos quais os objetivos-chaves são medidos regularmente. Chamado também de Desdobramento das Diretrizes.

HSM (*High Speed Machining*) - Usinagem em Alta Velocidade.

Ilhas de Processo — Prática de agrupar máquinas ou atividades segundo o tipo de operação realizado; por exemplo, máquinas de moagem ou entrada de pedidos. Comparar com Células.

IMVP (*International Motor Vehicle Program*) - Programa Internacional de Veículos a Motor.

Introdução de um Novo Produto – É o processo de se projetar e desenvolver novos produtos e tecnologias visando atender a uma necessidade definida de mercado.

IPD (*Integrated Product Development*) - Desenvolvimento Integrado do Produto.

IPPD (*Integrated Product and Process Development*) - Desenvolvimento Integrado de Produto e Processo.

IPT (*Integrated Product Team*) - Time de Desenvolvimento Integrado do Produto.

IPT - CTA – Instituto de Pesquisas Tecnológicas (parte da estrutura do CTA).

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

Jidoka — Consulte "autonomação". É o termo japonês para transferência de inteligência humana para a máquina.

JIT (*Just In Time*) - JIT é um sistema estruturado de controle de estoques e execução de tarefas/operações, com entrega dos materiais certos, no tempo certo e na quantidade certa, e que tem por objetivo desenvolver um sistema de manufatura que permita a um fabricante ter somente os materiais, equipamentos e pessoas necessários a cada tarefa. O *just-in-time* aproxima-se do *just-on-time* quando as atividades em etapas anteriores ocorrem minutos ou segundos antes das atividades posteriores, possibilitando assim o fluxo contínuo. Os elementos-chave do *just-in-time* são Fluxo, Puxar, Trabalho Padrão (com estoques padrão em processo) e Tempo *Takt*.

Kaikaku — Palavra japonesa que significa Melhoria Radical; geralmente num processo do negócio que afeta o fluxo futuro de valor. Trata-se da melhoria radical de uma atividade a fim de eliminar *Muda*, por exemplo, reorganizando as operações de processamento para um produto de modo que, em vez de viajar de e para "ilhas de processo", o produto proceda pelas operações em um fluxo contínuo e em um curto

espaço de tempo. Chamado também de *Kaizen* Revolucionário, *Kaizen* do Fluxo e *Kaizen* do Sistema.

Kaizen — Uma combinação de duas palavras japonesas: *Kai* (mudar) e *Zen* (bem). Geralmente definida como significando "melhoria contínua". Trata-se da Melhoria contínua e incremental de uma atividade, a fim de criar mais valor com menos desperdício, ou *Muda*. Chamado também de *Kaizen* do Ponto e *Kaizen* do Processo.

Kaizen Chão de Fábrica — Um método sensível ao tempo e de desenvolvimento rápido que emprega uma abordagem concentrada baseada no trabalho de equipe. Melhoria contínua.

Kaizen Direcionado — Atividade de melhoria intensamente direcionada a uma única estação de trabalho, realizada rapidamente por dois ou três especialistas. Segue-se sempre a um evento *kaizen* plenamente desenvolvido.

Kanban — Sinalização visual. Em geral, consiste de um cartão de repetição de pedido ou outro método de disparar o sistema de puxar a produção, com base na utilização atual de materiais. Deve estar disponível para uso no ponto de fabricação.

Keiretsu – Termo que designa o agrupamento de empresas japonesas, através de associações históricas e patrimoniais, nas quais cada empresa mantém sua independência operacional mas estabelece relações permanentes com outras empresas do seu grupo. Alguns *keiretsu*, como a Sumimoto e a Mitsui, são horizontais, envolvendo empresas de diferentes setores. Outros, como Grupo Toyota, são verticais, envolvendo empresas responsáveis por etapas anteriores e posteriores à

empresa "integradora do sistema" que, normalmente, é quem realiza a montagem final.

LAI (*Lean Aircraft Initiative*) - Iniciativa Enxuta para Aeronaves – Atualmente passou a significar *Lean Aerospace Initiative* - Iniciativa Enxuta Aeroespacial.

Layout de Trabalho Standard — Diagrama de uma estação de trabalho ou célula mostrando como se realiza um trabalho *standard*.

Lead Time (Prazo de Entrega) — O tempo necessário para produzir um único produto, da hora em que o cliente faz o pedido até o despacho.

Lean Manufacturing (Manufatura Enxuta) — Utilização de uma quantidade mínima de recursos totais, pessoal, materiais, dinheiro, máquinas etc., para fabricar/gerar um produto, com o máximo rendimento, e entregá-lo pontualmente.

LEI (*Lean Enterprise Institute*) – Instituto da Empresa Enxuta.

LEM (*Lean Enterprise Model*) – Modelo de Empresa Enxuta.

Linha *Chaku-Chaku* — Significa "carga-carga" em japonês, e descreve uma célula de trabalho onde as máquinas fazem o descarregamento automático das peças para que os operadores possam transferir uma peça diretamente de uma máquina para a seguinte sem ter de esperar.

Manufatura Celular — Um arranjo de máquinas na seqüência correta de processo, onde os operadores permanecem dentro das células e os materiais lhes são apresentados de fora.

Manutenção Produtiva Total (TPM - *Total Productive Maintenance*) – Série de métodos, cujo pioneiro foi a Nippondenso (membro do Grupo Toyota), destinados a garantir que cada máquina em um processo de produção seja sempre capaz de realizar as tarefas necessárias para que a produção jamais seja interrompida.

Mapa do Fluxo da Cadeia do Valor — (Também chamado de Mapa da Cadeia do Valor ou Mapa do Fluxo do Valor) – Trata-se de um quadro que permite visualizar como material e informação fluem dos fornecedores, através da manufatura, até o cliente. Inclui os cálculos do tempo de ciclo total e do total de valor agregado. Preenchido para o estado atual e o futuro da cadeia do valor, a fim de indicar para onde o negócio está se dirigindo.

Mapeamento do fluxo do valor – Identificação de todas as atividades específicas que ocorrem ao longo do fluxo do valor referente a um produto ou família de produtos.

Melhoria Contínua — O compromisso de diariamente melhorar os produtos, o ambiente de trabalho e os negócios.

MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) - Instituto de Tecnologia de Massachusetts.

MPT ou TPM (*Total Productive Maintenance*) — Manutenção Produtiva Total.

Meister – Termo alemão, equivalente a Mestre, que designa o líder do grupo de produção em uma indústria alemã.

Mittelstand – Termo alemão que designa as indústrias familiares alemãs de médio porte, as quais, sendo controladas pela família, constituem a espinha dorsal da economia de exportação alemã do pós-guerra.

Monitor *andon* – Dispositivo de controle visual em uma área de produção, em geral um monitor com iluminação superior, que apresenta as condições atuais do sistema de produção e alerta os membros da equipe quanto aos problemas que surgem.

Monumento – Qualquer tecnologia de projeto, planejamento ou produção com exigências de escala que necessite que projeto, pedidos e produtos sejam levados até a fila de espera de uma máquina para serem processados. Comparar com Ferramenta do Tamanho Certo.

MRB (*Material Review Board*) - Comitê/Conselho/Junta de Revisão de Material.

MRP (*Material Resource Planning*) - Planejamento dos Recursos de Materiais, também conhecido por *Material Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades de Materiais.

MRP II — *Manufacturing Resources Planning* ou Planejamento dos Recursos da Manufatura.

MRP III — é o MRP II em conjunto com o *Kanban*. O seminário da Stewart-Frazier Tools, Inc. (S.F.T, Inc.) explica que muitos usuários do MRP II experimentaram um

problema de gerenciamento de material que é chamado de *overplanning*. Isto ocorre quando o sistema agiliza um Pedido de Compra pendente através da emissão de um novo Pedido de Compra. O comprador tem, então, dois pedidos ativos para os mesmos bens, de modo que o cancelamento do pedido original tem que ser emitido manualmente.

O MRP III eleva o MRP II convencional a um novo nível, o de “expedição inteligente”. Com o MRP III o sistema pesquisa um horizonte mais a frente, visualizando pedidos planejados e pendentes que possam atender ao requerimento de um pedido expresso, não gerando pedidos desnecessários. O problema de *overplanning* é eliminado, assim como a “intranquilidade” que o acompanha nas mensagens emitidas pelo MRP.

Muda — Palavra japonesa que se traduz por “desperdício”; Qualquer atividade que acrescenta custo, consome recursos, sem acrescentar valor ao produto.

Mura — Palavra japonesa que designa as variações de qualidade, custo e entrega de um processo.

Muri — Palavra japonesa que se traduz por “irracionalidade”; A demanda que excede a capacidade.

Nivelamento da Produção — Método para programar a produção para que, por um certo período de tempo, se elimine da manufatura a flutuação na demanda do cliente, produzindo-se cada peça todo dia.

OJT – *On-the-job training* ou treinamento durante o trabalho.

Operação – Atividade ou atividades realizadas em um produto por uma única máquina. Comparar com Processo.

Operações Standard — A melhor combinação do operador e da máquina, utilizando a menor quantidade de mão-de-obra, espaço, estoque e equipamento.

Pacemaker (Marcador de Ritmo, “marca-passo”) — Técnica usada para deixar um processo em ritmo de tempo *takt*.

Perfeição – Eliminação total de “muda” para que todas as atividades, ao longo de um fluxo de valor, criem e adicionem valor ao produto/processo.

Piper – Empresa norte-americana, fabricante de aeronaves leves de transporte na classe de 4 a 12 passageiros.

Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP – *Material Resource Planning*) – Sistema computadorizado que determina a quantidade e as necessidades de materiais utilizados em uma operação de produção. Os sistemas MRP utilizam um cronograma-mestre de produção, uma lista de materiais que apresenta todos os itens necessários para cada produto a ser fabricado e informações sobre os estoques atuais desses itens a fim de programar a produção e entrega dos itens necessários. O Planejamento dos Recursos de Manufatura (chamado muitas vezes de MRP II) expande o conceito de MRP, incluindo as ferramentas de planejamento da capacidade, uma interface financeira destinada a traduzir operações em termos financeiros e uma ferramenta de simulação para avaliar planos de produção alternativos.

Poka Yoke — Palavra japonesa que significa, "a prova de erros"; um dispositivo *poka yoke* previne que erros humanos afetem uma máquina ou um processo; impede que os erros de um operador se convertam em defeitos. Um exemplo no processo de recebimento de pedidos é uma tela para a entrada do pedido que, desenvolvida a partir de padrões tradicionais de registro de pedidos, questiona os pedidos que não estão dentro do padrão. Os pedidos suspeitos são, então, examinados, o que muitas vezes leva à descoberta de erros de entrada ou compra com base na interpretação incorreta de informações. Um exemplo na fabricação é um conjunto de fotocélulas em containeres de peças ao longo de uma linha de montagem, as quais impedem que componentes com peças faltando passem para a próxima etapa. O *Poka-yoke*, nesse caso, destina-se a suspender a transferência do componente para a próxima estação se o feixe de luz não tiver sido interrompido pela mão do operador em cada compartimento que contém uma peça para o produto em montagem no momento. Às vezes o termo *poka-yoke* é também chamado também de *baka-yoke*.

Produção (*Throughput*) — Quantidade produzida pela qual o sistema gera dinheiro.

Puxar (*Pull*) — Sistema de produção e instruções de entrega das atividades posteriores para as atividades anteriores na qual nada é produzido pelo fornecedor anterior sem que o cliente sinalize uma necessidade. Oposto de Empurrar (*Push*). Ver também *Kanban*.

QA (*Quality Assurance*) - Garantia da Qualidade.

QC (*Quality Control*) - Controle da Qualidade.

Redução do *Setup* — Redução do tempo ocioso que vai da troca da última peça até a primeira peça boa da operação seguinte.

Restrição — Uma estação de trabalho ou um processo que limita a capacidade de todo o sistema.

Retrofit – Reforma. Diz-se do serviço, ou conjunto de serviços, que tem por objetivo recuperar as características físicas ou de desempenho de uma máquina ou equipamento, podendo também conferir ao mesmo atributos mais modernos (mas em um grau menor que aquele obtido com o *upgrade*).

Sensei — Palavra japonesa que designa o mestre ou o professor particular, respeitável e com amplo domínio em uma área de conhecimentos - neste trabalho, pensamento enxuto e técnicas enxutas.

Seqüência de Trabalho — Os passos corretos que o operador adota, na ordem em que deveriam ser adotados.

Setup Externo — Atividades de preparação das ferramentas que podem ser executadas com segurança enquanto a máquina estiver funcionando.

Setup Interno — Atividades de preparação das ferramentas que devem ocorrer enquanto a máquina estiver parada.

Shusa — Palavra japonesa que designa o forte líder de equipe no sistema de desenvolvimento de produtos da Toyota. (Literalmente, porém, equivale a um nível de supervisor, como *katcho* ou *honcho*).

Sistema Global de Produção — Expansão do Sistema de Produção da Toyota; trata-se da estratégia que habilita uma manufatura enxuta, utilizando a metodologia *Kaizen*.

Sistema *Nagara* — Executar duas ou mais atividades com um único movimento.

Sistema Toyota de Produção (STP) — Baseado em alguns dos princípios iniciais de Henry Ford, o sistema descreve a filosofia de uma das mais bem sucedidas empresas do mundo. A fundação do STP é o nivelamento da produção, os suportes do Just-in-Time e o *Jidoka*.

SPC (*Statistical Process Control*) - Controle Estatístico do Processo.

SPI (*Single Process Initiative*) - Iniciativa para Unificação do Processo.

SQS (*Single Quality Systems*) - Sistemas para Qualidade Unificada.

Sub-otimização — Otimização de cada peça do equipamento; manter todas as máquinas funcionando, não importa o custo ou a consequência. É normal que isso inflacione o principal custo de produção: material.

Supermercado — Local no chão de fábrica junto à linha de produção onde as peças são classificadas e ficam prontas para disponibilização aos operadores.

Tabela de Capacidade do Processo — Tabela usada principalmente no ambiente de processamento das máquinas que compara a carga da máquina com a capacidade disponível.

Takt Time – vide Tempo *Takt*.

Tempo Automático da Máquina — O tempo que uma máquina necessita para produzir uma unidade, excluindo os tempos de carga e descarga.

Tempo de Ciclo (no original: *Cycle Time*) — O tempo que um operador leva para completar um ciclo de trabalho. Em geral, é o tempo que dura antes que o ciclo se repita. Se o tempo de ciclo de uma operação em um processo completo puder ser reduzido a um tempo *takt* igual, os produtos podem ser produzidos em fluxo contínuo. Consulte: Tempo de Ciclo do Operador e Tempo de Ciclo da Máquina.

Tempo de Ciclo da Máquina — O tempo que uma máquina necessita para produzir uma unidade, incluindo o tempo de carga e descarga.

Tempo de Ciclo do Operador — O tempo gasto para que um operador complete uma sequência de operações predeterminada, incluindo a carga e descarga, e excluindo o tempo de espera.

Tempo Elementar — Tempo estipulado para uma etapa operacional específica dentro do trabalho *standard*.

Tempo de Fila — Tempo que um produto leva na fila esperando o próximo projeto, processamento de pedido ou etapa de fabricação.

Tempo de Processamento — Tempo durante o qual realmente se trabalha no projeto ou na produção de um produto, ou tempo durante o qual um pedido realmente está

sendo processado. Em geral, o tempo de processamento é uma pequena fração do tempo de *throughput* e do *lead time*.

Tempo de *Throughput* — Tempo necessário para que um produto evolua da concepção ao lançamento, do pedido à entrega ou da matéria-prima às mãos do cliente. Inclui o tempo de processamento e o tempo de fila. Comparar com Tempo de Processamento e *Lead Time*.

Tempo *Takt* (no original: *Takt Time*) — O tempo líquido operacional total e diário dividido pela demanda total diária do cliente. Por exemplo, se o cliente demanda 240 peças por dia e a fábrica opera 480 minutos por dia, o tempo *takt* será de dois minutos; se o cliente quiser que sejam projetados dois novos produtos por mês, o tempo *takt* será de duas semanas. O tempo *takt* define o ritmo de produção de acordo com o índice de demanda do cliente, tornando-se a “pulsação” de qualquer sistema enxuto.

Top Level Architecture – Arquitetura de Alto Nível.

TPM (*Total Productive Maintenance*) - ou Manutenção Produtiva Total.

TPS (*Toyota Production System*) - vide Sistema Toyota de Produção.

TQM (*Total Quality Management*) - ou Gerenciamento pela Qualidade Total.

Trabalho Multifuncional — Treinamento de operários para operar e manter diferentes tipos de equipamentos de produção. O trabalho multifuncional é essencial à criação de células de produção nas quais cada trabalhador utiliza muitas máquinas.

Trabalho *Standard* ou Trabalho Padrão — Seqüência predeterminada de tarefas a serem completadas pelo operador dentro do tempo *takt*. Trata-se, também, da descrição precisa de cada atividade de trabalho, que especifica o tempo de ciclo, tempo *takt*, a seqüência de trabalho de tarefas específicas e o estoque mínimo de peças disponíveis necessário para realizar a atividade.

Transparência — Ver Controle Visual.

Troca de Máquina — Instalação de um novo tipo de ferramenta em máquinas que operam com metal, uma tinta diferente em um sistema de pintura, uma nova resina plástica em um novo molde em um equipamento de moldes por injeção, novos softwares em computadores e assim por diante. O termo aplica-se sempre que se aloca um dispositivo de produção à realização de uma operação diferente.

Troca de Matrizes/Ferramentas Num Toque (STED – *Single Touch Exchange Die*) — Redução das atividades de *setup* da matriz/ferramenta a um único passo.

Troca de Matrizes Num Minuto (SMED – *Single Minute Exchange Die*) — Prazo entre a última peça boa até a primeira peça boa seguinte no novo *setup* obtido em um tempo menor que 10 minutos. Termo também conhecido por "*Setup* num só dígito".

Troca Instantânea de Ferramentas — Série de técnicas para a mudança das especificações de equipamentos de produção em menos de dez minutos, nas quais Shigeo Shingo foi pioneiro. Preparação de máquinas quase instantânea é o termo utilizado quando a mudança nas especificações de máquina exige menos de um minuto. Obviamente, o objetivo de longo prazo é sempre tempo de preparação de

máquina zero, no qual a mudança nas especificações é instantânea e não interfere no fluxo contínuo.

Uniformização da produção — Ver *heijunka*.

Upgrade – Atualização, modernização.

Valor — Capacidade oferecida a um cliente no momento certo, a um preço adequado, conforme definido pelo cliente.

Valor Agregado — Qualquer atividade que transforme um produto ou serviço para satisfazer a necessidade do cliente.

Vendas Alavancadas — Sistema de relacionamentos com o cliente que tenta eliminar os surtos de demanda causados pelo próprio sistema de vendas (por exemplo, devido aos alvos de vendas trimestrais ou mensais) e criar relacionamentos de longo prazo com o cliente, permitindo a previsão das compras futuras pelo sistema de produção.

WBS (*Work Breakdown Structure*) - Estrutura de Desdobramento (ou Desmembramento) do Trabalho

WIP (*Work in Process* ou *Work in Progress*) - termo que designa o trabalho em andamento. Este termo também pode ser utilizado para designar a quantidade de material que se encontra em processamento, constituindo-se no estoque de peças que estão efetivamente sendo processadas, o que, ocasionalmente, pode ser chamado de estoque intermediário.

Wing Stub – estrutura de encastramento da asa (estrutura, em formato de caixa retangular, localizada na parte central-inferior da fuselagem, e que serve como elemento de ligação entre as duas semi-asas, sendo, por sua vez, ligada à fuselagem da aeronave).

1 INTRODUÇÃO

1.1 O SISTEMA DE MANUFATURA ENXUTA (*LEAN MANUFACTURING*)

Evoluindo de um conceito particularmente voltado às operações de produção e, portanto, circunscrito às áreas efetivamente de transformação de recursos produtivos, o Sistema de Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, adquiriu uma abrangência que lhe confere, atualmente, um sentido bem mais amplo, traduzindo-se em um conjunto de atividades que tem como meta o aumento da capacidade de resposta às mudanças e a minimização dos desperdícios na produção; constituindo-se num verdadeiro empreendimento de gestão inovadora. Como empreendimento, seus princípios são: ter (e manter) os itens certos nos lugares certos, no tempo certo e na quantidade correta; criar e alimentar relações efetivas dentro da Cadeia de Valor; trabalhar voltado à Melhoria Contínua e buscar a Qualidade Ótima desde a Primeira Unidade Entregue.

Basicamente, utilizam-se as ferramentas do *JIT* e a filosofia do *Kaizen* para se combater os originariamente chamados Sete Desperdícios da Produção, a saber:

- 1) Desperdício de Superprodução;
- 2) Desperdício de Espera;
- 3) Desperdício de Transporte;
- 4) Desperdício de Processamento;
- 5) Desperdício de Movimento;
- 6) Desperdício de Produzir Itens/Produtos Defeituosos;
- 7) Desperdícios de Estoques.

Faz-se necessário notar que a estes sete tipos originais o próprio idealizador da filosofia de *Lean Manufacturing*, James Womack, acrescentou recentemente mais

um tipo de desperdício, identificado como sendo o “Oitavo”, que diz respeito ao “Desperdício de Pessoas Sub-Utilizadas”.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é estudar como o Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) foi, ou está sendo, implementado nas principais indústrias aeronáuticas da atualidade, fabricantes de aeronaves para o transporte aéreo regional, sob uma ótica voltada à análise dos Sistemas Produtivos, Operações e Inovação (correspondente à ênfase dada nesta Linha de Pesquisa), tomando como base as informações obtidas em resposta aos questionários que foram enviados aos responsáveis pelas áreas de Manufatura e/ou Operações de cada empresa. Buscou-se, secundariamente, avaliar a validade da metodologia empregada, face às condições históricas de desenvolvimento e incorporação de Tecnologias, Técnicas de Gestão e Aumento da Competitividade das indústrias aeronáuticas, particularmente no campo da Manufatura Aeronáutica, associadas à grande ênfase atribuída por este ramo da indústria à proteção da informação científica e industrial. No entanto, para melhor fundamentação teórico-prática de tal avaliação, faz-se necessário prosseguir no estudo mais profundo tanto das novas informações sobre a Filosofia *Lean Manufacturing* quanto do tratamento da mesma no cenário mundial (com as iniciativas *LAI*, *LEM* e *LEI* – utilizando o material anteriormente obtido da divisão do *MIT* responsável pela *LAI*: uma cópia da Versão 1.0 da estrutura de Princípios, Metas e 12 Práticas Abrangentes, com as respectivas métricas, recomendadas tanto para se avaliar o estado presente quanto para se direcionar os esforços de um empreendimento rumo ao “futuro enxuto”). Também se tratou de avaliar a eficácia atingida pelas empresas pesquisadas, até o presente momento, particularmente na adoção de revolucionárias técnicas de manufatura e de gestão da logística global, na

eliminação dos “Oito Desperdícios” e na melhoria dos parâmetros de monitoramento do desempenho dos principais processos envolvidos. Finalmente, procurou-se avaliar o impacto de tal iniciativa junto à Alta Administração das empresas pesquisadas, juntamente com a eficiência na assimilação dos conceitos e o grau de incorporação da Filosofia *Lean Manufacturing* nas Estratégias de Capacitação da Manufatura destas empresas de alta tecnologia.

1.3 A IMPLEMENTAÇÃO DA MANUFATURA ENXUTA NAS INDÚSTRIAS AERONÁUTICAS

Avaliando-se as características gerais da classe de empresas formada por indústrias que se dedicam especificamente à fabricação de aeronaves, pode-se facilmente concluir que se trata, efetivamente, de um “terreno bastante fértil e promissor” para a implementação de um sistema de manufatura que busque a redução de desperdícios e o aumento da eficiência na materialização do desejo do cliente (no caso deste estudo, a disponibilização das aeronaves encomendadas para a operação nas linhas de transporte aéreo regional).

Adiantando-se um pouco do que será estudado mais detalhadamente no Sub-Capítulo 2.4.3, dedicado a explorar a combinação do trinômio Empresa Enxuta, Sistema de Manufatura Enxuta e Indústria Aeronáutica, tem-se que as ferramentas utilizadas na Manufatura Enxuta têm sido percebidas pelos fabricantes de aeronaves como sendo muito relevantes no tratamento de seus problemas, pois, não somente os longos *lead times* demandados entre a colocação de um pedido e a entrega final da aeronave devem-se, principalmente, ao grande número de empresas subcontratadas, muitas vezes localizadas em outros países ou continentes, que fornecem para as indústrias responsáveis pela integração e montagem final das aeronaves, mas também as grandes áreas úteis exigidas para o adequado processamento e

movimentação de partes e sub-conjuntos de grandes dimensões, combinadas com os particulares métodos de produção e a garantia da disponibilidade de matéria-prima, equipamentos e componentes, que se encontram entre os itens de maior fator de segurança e nível de complexidade existentes no universo da manufatura, contribuem facilmente para a existência de uma elevada quantidade de desperdícios de qualquer um dos oito tipos identificados e combatidos pelo Sistema de Manufatura Enxuta.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho de pesquisa efetuado em ambientes e culturas especificamente aeronáuticos pretende, por meio da coleta de informações e de uma efetiva comparação entre os princípios teóricos, referentes aos critérios *lean* para a implementação de um sistema de manufatura, e os procedimentos que realmente foram (e são) levados em conta para tal implementação, gerar material que possa servir de base para um compêndio das “Melhores Práticas”, adotadas nas principais indústrias aeronáuticas da atualidade dedicadas à produção de aeronaves para o transporte aéreo regional, para introduzir e assimilar este novo conceito de manufatura em seus sistemas de produção.

A pesquisa efetuada ficou, portanto, restrita às informações enviadas em resposta por aquelas indústrias classificadas como “principais fabricantes de aeronaves regionais da atualidade”, conforme critérios adotados pela publicação especializada *Aviation Week & Space Technology*, edição exclusiva 2003 *Aerospace Source Book*, 13 de janeiro de 2003, seção dedicada aos *Prime Contractor & Major Manufacturer Profiles: Américas / Europe / Israel / Japan / Russian Federation / Northeast Ásia*, nomeadamente a europeia Airbus, a norte-americana Boeing, a brasileira Embraer e a canadense Bombardier, fazendo também uso de informações referentes a algumas indústrias representativas de países com notória tradição nas

ciências aeronáuticas, como a Rússia, o Japão e a China, que fabriquem ou estejam projetando a fabricação de aeronaves para o transporte aéreo regional, desde que sejam consideradas relevantes para o contexto principal deste trabalho, o qual, efetivamente, não contempla o universo de indústrias classificadas como fornecedoras de segundo e terceiro níveis (*second and third tiers*) para as integradoras e montadoras finais.

1.5 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A importância atribuída a este estudo, originado do trabalho elaborado em 2001 sobre a Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) na Embraer, reside no fato de se ter disponíveis hoje, principalmente em nosso idioma, uma quantidade muito reduzida de trabalhos publicados que sejam efetivamente relacionados à adequação e aplicabilidade dos métodos *lean* nas indústrias aeronáuticas, setor industrial que é notadamente caracterizado por uma produção altamente diferenciada, de volume relativamente baixo, de pouca repetitividade, e que agrega altíssimo valor ao produto, além de não se ter conhecimento sobre algum outro trabalho que aborde especificamente o tema das Melhores Práticas que devem ser adotadas para a implementação deste Sistema de Manufatura em indústrias aeronáuticas.

Pretende-se que os resultados obtidos com este estudo sirvam não somente para orientar a implantação de sistemas de manufatura em novas empresas de fabricação de produtos aeronáuticos, item de grande importância para a nacionalização de produtos e serviços e desenvolvimento do parque aeronáutico brasileiro, mas também para facilitar uma efetiva comparação, ou *benchmarking*, dos sistemas produtivos operados por empresas já atuantes no setor, fornecendo metas e

objetivos para o desenvolvimento de planos de aprimoramento, orientando-as rumo à Manufatura Aeronáutica de Classe Mundial.

Visando principalmente alertar os leitores quanto à veracidade das informações que foram coletadas nesta pesquisa tem-se que, tratando-se de uma pesquisa de caráter global, abrangendo as principais indústrias aeronáuticas voltadas para a fabricação de aeronaves regionais, fica evidenciada a impossibilidade de se averiguar *in loco* a veracidade das informações que foram recebidas em resposta aos questionários enviados, confrontando-se os dados informados e os fatos mencionados com os que realmente poderiam ser observados em visitas feitas às empresas que foram estudadas. Partindo-se deste princípio, devem ser tomadas como fidedignas, e prestadas de boa-fé, todas as respostas aos questionários que foram enviados, atribuindo-se os inevitáveis erros e omissões à falta de entendimento das questões formuladas, provavelmente gerada pelas barreiras dos diferentes idiomas, ou ao desconhecimento dos detalhes dos fatos e dados que constituíram ou suportaram estas respostas. Faz-se também necessário evidenciar que as respostas consideradas como muito discrepantes em relação às informações que seriam logicamente esperadas, face tanto às teorias expostas nos livros, artigos e revistas especializadas já publicados quanto à efetiva experiência do autor no ramo aeronáutico, foram objeto de confirmação junto à fonte das mesmas, podendo, apesar de mencionadas no estudo, não terem sido consideradas válidas para a incorporação aos dados que constituirão a base do futuro compêndio das “Melhores Práticas Adotadas Globalmente para a Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) nas Indústrias Aeronáuticas da Atualidade”.

Sob a ótica exclusivamente acadêmica, espera-se que este estudo possa esclarecer dúvidas naturalmente existentes sobre o assunto, além de servir como fonte de pesquisa e referência para trabalhos futuros que sejam relacionados ao tema.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação organiza-se em seis capítulos, distribuídos conforme se segue:

No Capítulo 1, referente à Introdução, são apresentados, em linhas gerais, os assuntos abordados neste trabalho, o objetivo, a considerada relevância do estudo, a metodologia utilizada para a realização da pesquisa e o tratamento das respostas obtidas, além das limitações do estudo.

Ao Capítulo 2, que diz respeito à Revisão da Literatura, faz-se necessária uma observação para orientar o máximo aproveitamento da leitura deste trabalho, adequando-o à familiarização do leitor com os conceitos básicos da construção aeronáutica. Caso o leitor não esteja efetivamente familiarizado com as técnicas de manufatura aeronáutica e a evolução histórica das mesmas, recomenda-se a leitura completa deste Capítulo, pois tratar-se-á de apresentá-las o mais detalhadamente possível, abordando-se os aspectos históricos que embasam este estudo, explorando-se desde a evolução dos conceitos de manufatura e as principais características que particularizam a manufatura aeronáutica, até a situação atual e as perspectivas do mercado de transporte regional e *commuters* (o que favorece o entendimento sobre o universo em que se insere o objeto da pesquisa efetuada) e o relacionamento entre as atuais tendências de inovação e a indústria aeronáutica. Ainda nesta parte do Capítulo são abordados, também historicamente, os conceitos fundamentais da divisão das aeronaves em subconjuntos para fabricação e montagem, a globalização da produção e do fornecimento de materiais, peças componentes aeronáuticos (item fundamental para a avaliação das perdas inerentes aos fatores logísticos presentes na manufatura aeronáutica) e os indicadores de competitividade na indústria aeronáutica. Se, no entanto, o leitor classificar-se como já tendo suficiente conhecimento sobre as técnicas de manufatura aeronáutica, assim como sobre os dados e fatos históricos que

marcaram a evolução das mesmas, recomenda-se que a leitura deste Capítulo tenha início ao Sub-Capítulo 2.3, a partir do qual são abordados os Princípios do Sistema de Manufatura Enxuta, apresentando-se um breve histórico sobre a mesma, ao que se segue o comentário sobre os principais conceitos e definições a ela relacionados, a utilização das principais ferramentas associadas à Manufatura Enxuta, a implementação da Empresa Enxuta (*Lean Enterprise*) e suas Características Principais, bem como o relacionamento entre a Manufatura Enxuta e o Desenvolvimento de Competitividade e Inovação Tecnológica da Empresa Enxuta, encerrando-se este Capítulo com a apresentação do *LEM*, o *Lean Enterprise Model*, ou Modelo para Empresas Enxutas (que incorpora uma grande evolução desde a sua publicação original, em 1996), seguido do mapa de Transição-para-*Lean* das Operações de Produção.

No Capítulo seguinte, o de número 3, referente à Proposição, é apresentado o que se esperava realizar neste trabalho de pesquisa, abordando-se fundamentalmente as perguntas-chave que orientaram a busca de informações sob a forma de dados numéricos, qualitativos, textuais, fotográficos e referenciais.

Ao Capítulo 4, referente ao Método, faz-se uma importante consideração acerca do instrumento adotado para a coleta das informações necessárias para a realização deste trabalho, da validade do procedimento adotado e da necessária simplificação do questionário original – composto por perguntas fechadas, de caráter complexo e que solicitavam informações que, na maioria das vezes, foram classificadas como sendo “segredo de negócio” (ou *business secret*) – adotando-se, em substituição ao mesmo, um questionamento mais aberto e que não demandava a exposição de informações, dados e fatos tão sensíveis.

O Capítulo 5 trata de exibir os resultados obtidos da avaliação do material recebido em resposta aos questionários enviados, estabelecendo comparações e ressaltando informações consideradas importantes para o desenvolvimento deste

trabalho. Ao longo deste Capítulo relatam-se, ao final da exposição das informações de cada respondente, os principais pontos obtidos na avaliação dos resultados, representando-os de maneira estruturada e utilizando critérios tanto de exibição de figuras e fotografias recebidas das empresas respondentes quanto de associação de imagens aos resultados textuais ou numéricos, sempre respeitada a relevância para com o objetivo proposto neste estudo.

Ao Capítulo 6 trata-se de expressar as efetivas conclusões, todas derivadas do estudo efetuado sobre o material apresentado no trabalho e alicerçadas também no que se é exposto nos Capítulos 7 e 8 subseqüentes, os quais exibem, respectivamente, as Referências Bibliográficas e os Anexos, necessários para o esclarecimento de algumas informações constantes deste trabalho e para o enriquecimento da leitura do mesmo, com mais detalhes sobre alguns fatos e dados mencionados ao longo do texto, evitando interromper a concentração no tema principal aqui abordado.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura foi efetuada principalmente através do estudo de publicações especializadas, das quais algumas se encontram listadas no capítulo Referências Bibliográficas, e que abrangem tanto livros dedicados especificamente ao assunto quanto periódicos referentes a Sistemas de Produção Aeronáutica, de Manufatura de Aeronaves e de Manufatura Avançada. Serviram também como fontes de consulta algumas notas de aula sobre a História da Construção Aeronáutica, dissertações sobre assuntos correlatos, bem como artigos publicados em revistas especializadas (profissionais e científicas). Tratando-se de um tema que aborda uma combinação técnico-administrativa de caráter consideravelmente recente, entre o Sistema de Manufatura Enxuta e o segmento industrial de Produção Aeronáutica, tem-se que uma parcela significativa de informações relevantes para a elaboração e o tratamento da pesquisa realizada durante o desenvolvimento deste trabalho foi proveniente de consultas à mídia eletrônica (*sites* especializados de universidades, de institutos de pesquisa e de fabricantes aeronáuticos, existentes na *Internet*, além das publicações disponibilizadas no *Probe* e na *Web of Science*, dentre outras fontes).

2.1 A EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DE MANUFATURA AERONÁUTICA

As atividades que, através de suas evidências deixadas em sítios arqueológicos, podem ser genuinamente reconhecidas como sendo de Manufatura, datam de cerca de 5000 a 4000 AC e tiveram início com a produção de vários artigos em ossos de animais, madeira, cerâmica, pedras e metais rudimentares. A matéria-prima e os processos que foram inicialmente utilizados para dar forma a estes produtos, através de corte, polimento, fundição e martelamento, têm sido

gradualmente desenvolvidos ao longo dos séculos, com o uso de novos materiais e operações mais complexas, sempre em níveis crescentes de produção e qualidade.

Os primeiros materiais utilizados para a fabricação de utensílios domésticos e objetos ornamentais incluíam metais como ouro, cobre e ferro. À estes logo se seguiram a prata, o chumbo, o estanho, o bronze e o latão. A produção do aço, datada de cerca de 600 a 800 DC, foi um grande avanço, e desde então uma larga variedade de metais ferrosos e não-ferrosos têm sido desenvolvidos. Até a Revolução Industrial, originada na Inglaterra por volta de 1750, os bens eram produzidos em lotes, com grande confiança depositada na habilidade manual dos artesãos em todas as operações de produção. A mecanização moderna, característica marcante da Revolução Industrial, teve início com o desenvolvimento de máquinas de fiação para a indústria têxtil e de máquinas-ferramentas para a usinagem de metais. Esta tecnologia logo foi repassada para os Estados Unidos, onde foi grandemente aperfeiçoada, passando a incluir importantes avanços em projeto, fabricação e utilização de peças intercambiáveis. Anteriormente à introdução dos conceitos de intercambiabilidade uma grande quantidade de ajustagem manual era necessária na montagem das peças, principalmente porque não havia duas peças exatamente iguais. A combinação de todos estes aperfeiçoamentos com a pesquisa intensiva de materiais e processos inovadores garantiram que, hoje em dia, os produtos usados em máquinas avançadas como computadores e aeronaves supersônicas incluam materiais especialmente elaborados e produzidos, com propriedades únicas, tais como cerâmicas, compósitos, plásticos reforçados e metais de ligas especiais.

As características dos processos de manufatura e montagem das aeronaves estão diretamente relacionadas a diversos fatores importantes, dentre os quais podemos citar os materiais utilizados na sua fabricação, a forma física ou a configuração da aeronave e o tipo de operação, o propósito ou a missão a que a aeronave vai se dedicar. Tendo conceitualmente evoluído a partir da observação das

estruturas dos seres alados (cujos principais “modelos” foram: das aves, o pelicano e o albatroz, e dos insetos, a libélula), as primeiras aeronaves “mais pesadas que o ar” apresentavam uma configuração construtiva que procurava privilegiar, acima de tudo, a leveza estrutural, para que a relação peso/potência, grandemente prejudicada devido à baixa potência disponível nos motores à explosão da época, fosse a melhor possível.

Com o objetivo de melhor avaliar-se a evolução das Técnicas de Construção Aeronáutica, achou-se por bem explorar principalmente a área de Estruturas Aeronáuticas, considerando-se que, com a abrangência de áreas como Propulsão, Aviônicos e Sistemas Mecânicos ou Elétricos, apesar de igualmente representativas e enriquecedoras, se agregaria um excessivo volume de informações que, seguramente, inviabilizaria o atendimento dos prazos estipulados para a consecução deste trabalho. Seguindo-se esta linha e tomando-se como exemplo o Demoiselle, considerado o mais popular aeroplano de Santos-Dumont, criado em 1907 e construído em apenas quinze dias, tem-se que nestas primeiras aeronaves a estrutura extremamente leve se caracterizava por uma fuselagem de cerca de seis metros de comprimento, construída de longarinas de bambu, com juntas de metal, e asas cobertas de seda japonesa, tornando-as leves, transparentes e de grande efeito estético. Sendo um avião pequeno, de tração dianteira, o Demoiselle tinha sua hélice girando no bordo de ataque da asa alta, de grande diedro; o leme e o estabilizador eram de contorno poliédrico, montados em uma estrutura em forma de cruz e unidos à fuselagem por meio de uma junta que permitia o movimento do conjunto em todas as direções. O motor a explosão, de 20 hp, refrigerado a água, era de dois cilindros opostos e foi projetado pelo próprio Santos-Dumont, tendo sido construído pela fábrica Dutheil & Chalmers. O piloto posicionava-se sentado, abaixo da asa, logo atrás das rodas. O comando era composto por um volante que controlava, através de cabos, o conjunto leme/estabilizador. Os cabos de sustentação da asa e reforço de estrutura, conhecidos

como tirantes e que se responsabilizam por suportar os esforços de tração, eram cordas de piano.

Note-se que nesta breve descrição técnica já se pode confirmar tanto a tendência da utilização de uma estrutura tubular na construção aeronáutica, aqui obtida com a fuselagem estruturada em bambu, quanto as características de especialização da fabricação do motor (encomendado conforme as especificações do fabricante da aeronave e fabricado de forma terceirizada). Como outra particularidade referente ao processo de fabricação e montagem tem-se que a grande maioria, se não a totalidade, do ferramental especializado que foi necessário para a fabricação desta aeronave (e dos demais modelos derivativos subseqüentes), foi projetada e desenvolvida pelo próprio Santos-Dumont, muitas vezes tendo se originado a partir da alteração ou da combinação de diversas ferramentas já existentes e de uso corriqueiro.

Santos-Dumont não patenteou este modelo de aeroplano como sua invenção, dando plena liberdade às pessoas para fabricá-lo, tornando-o, assim, o primeiro avião genuinamente popular, além de permitir que, além da França, outros países como Estados Unidos, Alemanha e Holanda também construíssem suas cópias do Demoiselle.

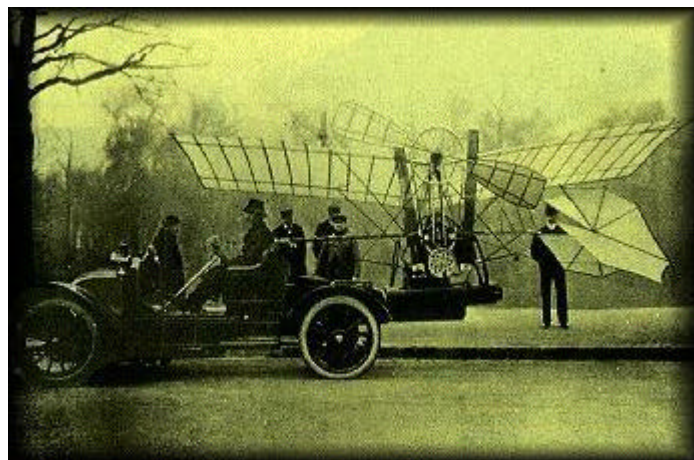
Posteriormente, Santos-Dumont alterou o projeto original desta aeronave, redesenhando a asa para aumentar sua resistência e colocando um motor Antoniette, de 24 hp, na parte de baixo, entre as pernas do piloto, transmitindo o torque à hélice por meio de uma correia. Este projeto derivativo ficou conhecido como nº 20 e foi descrito pela revista Scientific American de 12 de dezembro de 1908 como: "... de longe a mais leve e possante máquina desse tipo que jamais foi produzida.", e mais, "Um número de pequenos vôos foram feitos e não se apresentou nenhuma dificuldade particular em mantê-lo no ar".

Por causa do tamanho reduzido de seu monoplano, como se pode verificar nas Figuras 1 e 2, a seguir, Santos-Dumont foi capaz de transportá-lo de Paris para Saint-Cyr na parte traseira de um automóvel, tendo sido esta a primeira vez que se tem conhecimento de que um automóvel tenha sido usado para transportar um aeroplano montado, da cidade para um lugar apropriado no campo, onde o aviador pudesse levar adiante seus experimentos.



Fonte: Arquivo de imagens da FAB

Figura 1 – Demoiselle Modelo Nº. 20



Fonte: Arquivo de imagens da FAB

Figura 2 – Demoiselle Modelo Nº. 20 sendo transportado

Especificações Técnicas do Demoiselle Modelo Nº. 20:

Construtor: Santos-Dumont

Motor: Dutheil et Chalmers ou Daracq

Potência: 30 hp.

Comprimento: 8,40 m.

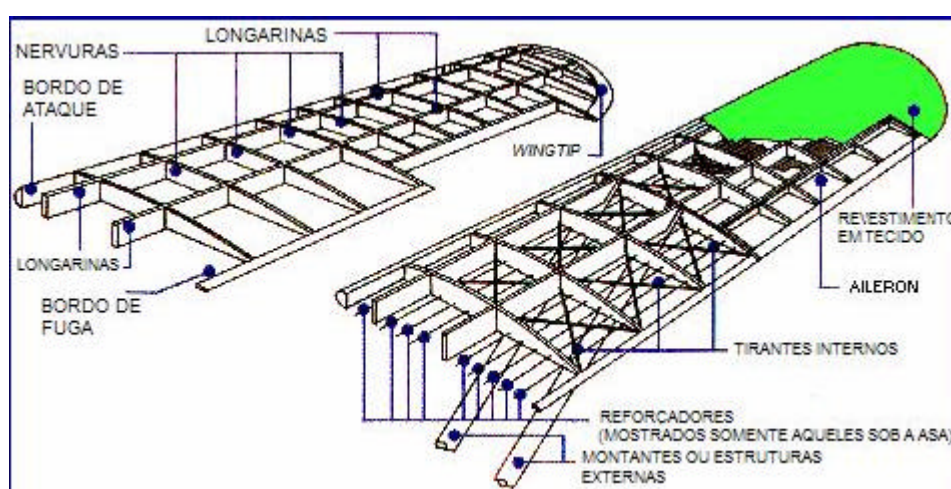
Envergadura: 5,10 m.

Peso Completo: 110 kg.

Velocidade: 80 km/h.

Graças à rápida expansão da construção aeronáutica nos países mais industrializados, foram sendo suplantados os problemas relativos às sérias limitações estruturais e operacionais destas aeronaves primárias, principalmente quando se tentava aumentar suas características de desempenho, como velocidade, altitude de operação e manobrabilidade, além da capacidade de transporte de carga. O tecido leve de revestimento das asas revelava-se inadequado para suportar as crescentes pressões aerodinâmicas, rompendo-se quando submetido aos esforços decorrentes de maiores velocidades e/ou manobras mais abruptas. As evoluções em termos de processos de fabricação e de tratamento de tecidos que se obtiveram a partir do desenvolvimento de outra classe de aeronaves, chamadas “mais leves do que o ar” e, principalmente, com a classe de aeróstatos classificada como “dirigíveis rígidos ou semi-rígidos” (sendo que o *zeppelin*, dirigível projetado pelo conde alemão Ferdinand von Zeppelin, constitui um exemplo do primeiro grupo, com sua armação rígida que lhe permitia alcançar velocidades superiores e maior capacidade de carga), fizeram com que aeronaves mais potentes e resistentes fossem surgindo em rápida seqüência, apresentando asas recobertas por revestimento de tecido, conhecido como tela, montado, ainda de forma artesanal, sobre uma estrutura de madeira leve e resistente (preferivelmente o abeto) composta por longarinas, principais elementos de resistência

estrutural da asa, nervuras, que dão o formato aerodinâmico à asa e transmitem os esforços aerodinâmicos exercidos sobre o revestimento para a longarina, montantes, que suportam os esforços de compressão, tirantes, cabos de aço esticados em diagonal e que suportam os esforços de tração, como já foi dito acima, e os suportes (por vezes também chamados de montantes), que são membros estruturais que dão apoio à asa e ao conjunto estabilizador horizontal/profundor traseiro. A Figura 3, mostrada a seguir, permite uma boa visualização destes componentes estruturais.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 3 – Componentes Estruturais da Asa

Tanto a fabricação das asas, com seu revestimento de telas de algodão tecido (por isso também conhecido como “entelado”), estrutura de madeira leve e tirantes, quanto a fabricação da fuselagem, constituída por uma estrutura tubular (normalmente de bambu), também com cabos de aço esticados em diversos pontos para suportar esforços de tração e podendo ser ou não recoberta com tela (que também funcionava apenas como revestimento de acabamento, não possuindo significativa resistência à esforços mecânicos), demandavam alta carga de trabalho artesanal, suprida com mão de obra oriunda principalmente das atividades de corte e costura de tecidos, fabricação e reparo de velames de barcos, carpintaria, marcenaria e fabricação de

pequenas ferragens. As estruturas de madeira normalmente eram pregadas e/ou coladas entre si e o tratamento necessário para se obter um revestimento entelado que fosse, ao mesmo tempo, resistente, impermeável e flexível, exigia a aplicação de um produto químico, normalmente incolor, conhecido como dope, sendo que uma entelagem executada de forma tecnicamente adequada resultava em produto de bom acabamento e durável por vinte anos ou mais. Este dope, que tinha por base a nitrocelulose e se classificava quimicamente na categoria das lacas - produtos que formam filmes plásticos pela simples evaporação dos solventes - era aplicado diretamente na tela e tinha a função de fixar, ou seja, dar estabilidade ao tecido de algodão. As telas eram compostas de fios dispostos numa trama que conferia ao conjunto resistência mecânica suficiente para suportar as forças resultantes das pressões aerodinâmicas responsáveis pela sustentação e manobrabilidade das aeronaves. Os fios, entretanto, podiam se movimentar se não estivessem fixados permitindo, deste modo, deformações das superfícies de tecido. O dope tinha como função principal assegurar a manutenção das formas aerodinâmicas e demais superfícies, isto é, manter estas formas estáveis durante os vôos. Para bem cumprir essa função os dopes necessitavam possuir as seguintes características:

TENACIDADE: Elevada resistência aos esforços de tração. Os filmes do dope não deviam ser elásticos, para que pudessem garantir a manutenção das formas. A resistência dos filmes plásticos de dope dependia da resistência própria do material, bem como a espessura aplicada. Daí, a quantidade de demãos necessárias dependia do peso e da velocidade de cada aeronave.

FLEXIBILIDADE: O dope precisava associar essa qualidade à tenacidade, tendo que ser suficientemente flexível para suportar a fadiga resultante das vibrações e flexões impostas pelos efeitos aerodinâmicos.

DURABILIDADE: Elevada resistência às intempéries.

COMBUSTIBILIDADE: Apesar da segurança, tanto do patrimônio como de vidas, naturalmente demandar que os dopes tivessem baixos níveis de combustibilidade, tal fator não foi considerado essencial na época devido à impossibilidade de se obter tal característica aliada às demais.

ACABAMENTO: Uma vez que os dopes já asseguravam a estabilidade da tela e, portanto, das formas aerodinâmicas, era fundamental que as tintas e os esmaltes de acabamento fossem suficientemente flexíveis ou elásticos para impedir o surgimento de trincas na superfície do filme plástico.

Uma vez que a tela precisava ser mecanicamente fixada, ou ancorada, sobre as nervuras para assegurar a manutenção do perfil da asa durante o voo e também por razão de segurança, era mandatória, após o tensionamento da tela, a amarração da mesma com barbantes de alta resistência (lardeagem) – sendo que nos anos posteriores tal operação passou a ser feita com parafusos e rebites pop.

Tratando-se de avaliar os processos de obtenção e abastecimento de matéria-prima para a construção aeronáutica desta época tem-se que a principal característica era a busca por fornecedores locais de produtos que pudessem ser entregues em pequenos lotes, dada a baixa cadência de produção e a elevada perecibilidade da maioria dos itens necessários, evitando-se problemas referentes à estocagem de telas de algodão (que poderiam ser facilmente danificadas por umidade, calor excessivo ou ataque de traças e cupins), dopes (líquidos extremamente voláteis e inflamáveis), estruturas delicadas de madeira (que além de empenar e deformar facilmente, se constituíam em dieta preferida de cupins) e dos componentes metálicos do conjunto

motor (que também apresentavam uma grande tendência à oxidação devido aos rudimentares processos de proteção e acabamento superficial utilizados em sua fabricação). Analisando-se as fotografias mostradas a seguir, nas Figuras 4, 5 e 6, tem-se uma idéia bastante razoável sobre as características do processo artesanal de construção aeronáutica desta época, o alto grau de mobilização de mão-de-obra direta de especialização relativamente baixa, a pouca utilização de dispositivos de montagem e gabaritos de fabricação que agilizassem a execução das tarefas na produção, o layout “tipo oficina” utilizado na área de fabricação e montagem e, conseqüentemente, a baixa cadência de fabricação obtida nesta fase que antecede o início da Primeira Guerra Mundial (conforme notas de aula do autor sobre a História da Construção Aeronáutica).



Fonte: Arquivo de imagens da FAB

Figura 4 – Fabricação Artesanal de Aeronaves em 1914



Fonte: Cortesia da Boeing

Figura 5 – Costura do Revestimento das Asas na Década de 20



Covering the wings of the first planes with fabric at the Latécoère factory in Montaudran. Because of the war, women made up most of the workforce.

Fonte: Cortesia da Latécoère

Figura 6 – Cobertura das Asas com Tecido na Época da Primeira Guerra Mundial

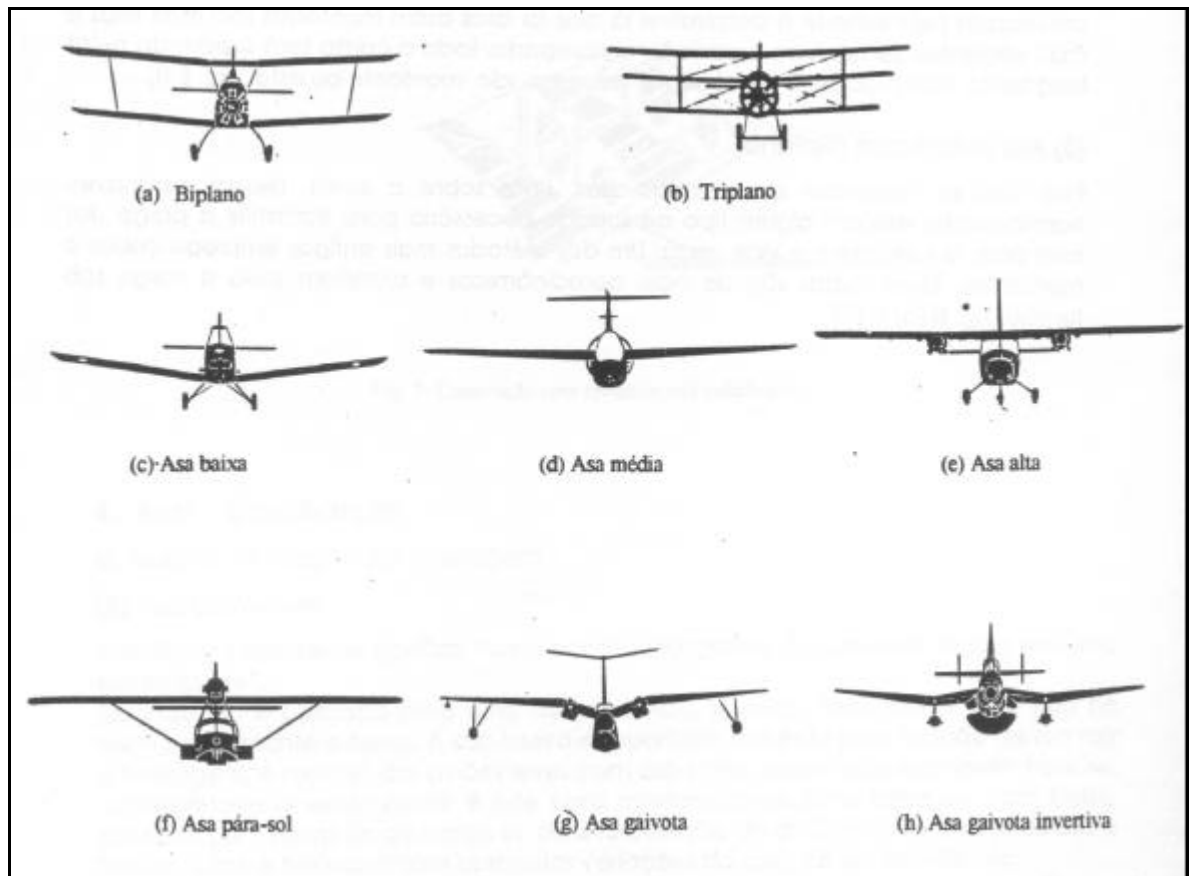
2.1.1 As Origens da Classificação pela Forma

A multiplicação das atividades de projeto e construção aeronáutica pelos diversos fabricantes que surgiam nos continentes europeu e americano, levou à conseqüente diferenciação na abordagem dos problemas básicos representados pela necessidade de se obter melhor desempenho e manobrabilidade, transportando pessoas e cargas em uma quantidade cada vez maior, sem se sacrificar demasiadamente a resistência estrutural e a leveza das aeronaves. As soluções encontradas, que já permitiam a identificação de tendências construtivas que buscavam as formas mais adequadas às missões e aos propósitos para os quais se pretendiam empregar as aeronaves, favoreceram o surgimento de múltiplas configurações que, uma vez agrupadas, lançaram as bases para a classificação dos aviões quanto à asa e sua localização na fuselagem, sua fixação, seu número ou quantidade e quanto à sua forma em planta, bem como quanto aos tipos de estrutura da fuselagem, ao número de motores, seu funcionamento e sua disposição e ao formato da empenagem, que é o conjunto de superfícies, geralmente localizadas na extremidade posterior da aeronave, e que se destinam a estabilizar e dirigir o vôo do avião.

As Figuras numeradas de 7 a 10, nas páginas a seguir, favorecem a melhor visualização desta classificação dos aviões quanto à asa, à estrutura da fuselagem, aos motores e ao formato da empenagem, facilitando a identificação e o reconhecimento destas diferenças básicas da configuração das aeronaves..

Classificação dos aviões quanto à asa:

Quanto ao número e à posição da asa em relação à fuselagem, os aviões podem ser monoplanos (de asa baixa, média, alta, parassol, em forma de gaivota ou de gaivota invertida), biplanos ou triplanos.

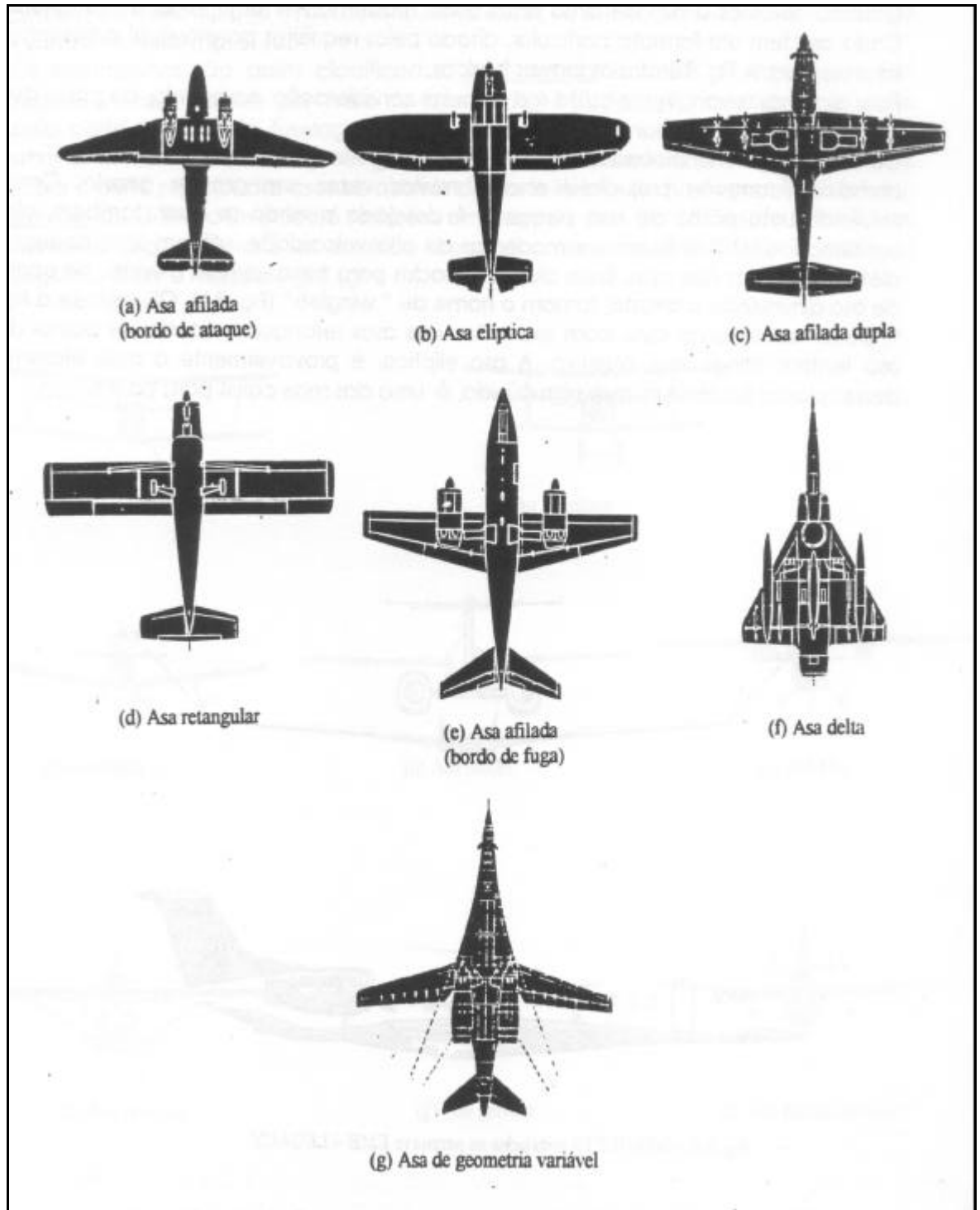


Fonte: Apostila de Familiarização Aeronáutica da Embraer

Figura 7 – Classificação Quanto à Quantidade e a Posição das Asas

Quanto à fixação ou ligação das asas à fuselagem, elas podem ser do tipo *cantiléver* (quando cada semi-asa é firmemente fixada à fuselagem sem nenhum apoio externo) ou *semi-cantiléver* (quando cada semi-asa recebe o reforço de algum apoio externo, como os suportes ou montantes).

Quanto à sua forma projetada em planta, as asas podem ser afiladas, retangulares, trapezoidais, elípticas, enflechadas, “em delta”, de geometria variável, etc.

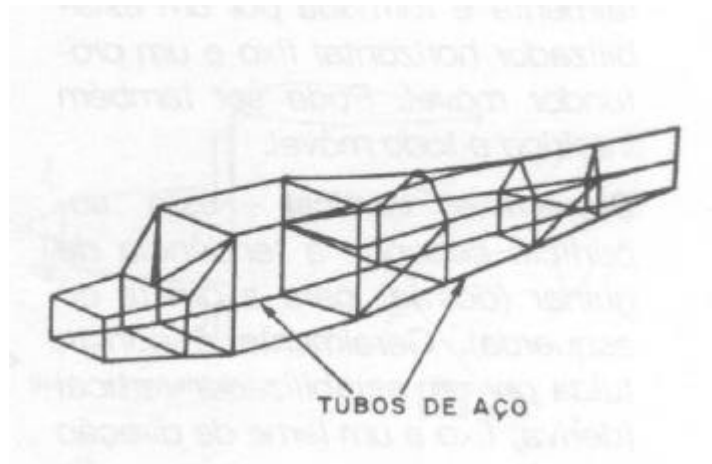


Fonte: Apostila de Familiarização Aeronáutica da Embraer

Figura 8 – Classificação Quanto à Projeção da Asa em Planta

Quanto ao tipo de estrutura da fuselagem, a classificação básica dos aviões se divide em:

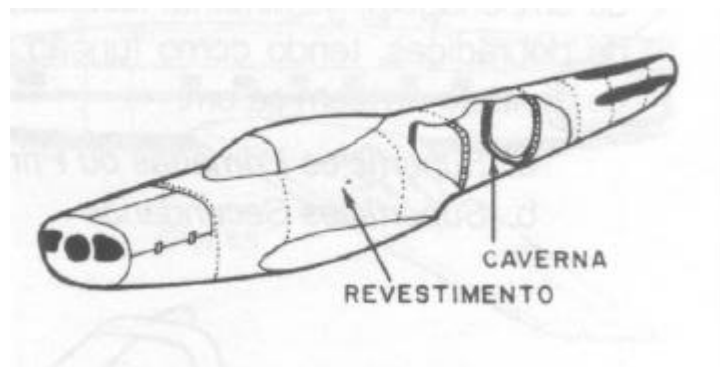
Estrutura tubular – formada por tubos interligados, atualmente confeccionados em aço ou alumínio de alta resistência, e soldados ou aparafusados entre si, já tendo sido descrita anteriormente neste capítulo.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 9 – Estrutura Tubular

Estrutura monocoque – neste tipo de estrutura o formato externo (aerodinâmico) é dado pelo contorno das cavernas, confeccionadas (usinadas ou estampadas/coladas) em chapas metálicas (ligas de alumínio), placas de madeira ou, mais recentemente, de plástico reforçado ou compósitos, que sustentam o revestimento, repartindo com este a responsabilidade de suportar os esforços que incidem sobre ambos. O revestimento exigido por este tipo de estrutura é geralmente feito também de chapas metálicas (ligas de alumínio) ou contraplacado de madeira, de menor espessura, podendo ser igualmente feito de plástico reforçado ou compósitos.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 10 – Estrutura Monocoque

Estrutura semi-monocoque – este tipo de estrutura é o mais utilizado nos aviões em geral, sendo formado por cavernas, revestimento e longarinas, todos os quais resistem aos esforços aplicados ao avião. Os materiais utilizados são os mesmos da estrutura monocoque.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 11 – Estrutura Semi-Monocoque

Quanto aos motores, sua quantidade, seu funcionamento e sua disposição temos:

Monomotores, bimotores, trimotores, quadrimotores, etc. - para aeronaves que possuem, respectivamente, um, dois, três, quatro ou mais motores.

Motores à hélice, tratora ou impulsora (a pistão – com os cilindros dispostos em linha, em V, radialmente ou horizontalmente opostos, ou boxer - ou turbohélice) ou à reação (cujos principais tipos são os motores turbojato e os turbofan).

Quanto à disposição e ao formato da empenagem (ou cauda) – que também permite uma classificação secundária quanto à forma de sua projeção em planta, semelhante àquela das asas - os aviões podem se classificar em:

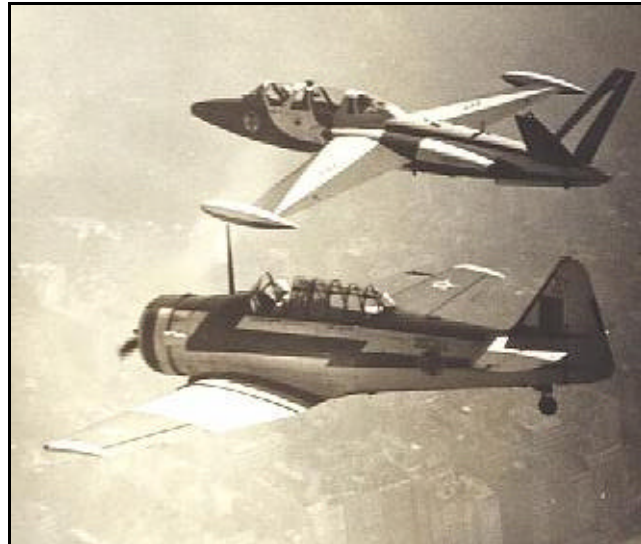
Empenagem baixa ou média (ou convencional) – com o conjunto estabilizador horizontal/profundores sendo posicionado, como as asas, em cantiléver ou semi-cantiléver.

Empenagem alta (ou “em T”) – com o conjunto estabilizador horizontal / profundores sendo posicionado no topo do conjunto estabilizador vertical/leme de direção.

Empenagem “em V” – com apenas duas superfícies, dispostas em V, e responsáveis tanto pelas funções desempenhadas pelo conjunto estabilizador vertical/leme de direção quanto pelo estabilizador horizontal/profundores.

A Figura 12, a seguir, permite uma comparação entre duas aeronaves cuja configuração é extremamente ilustrativa das diferenças que se atrelam às descrições feitas sobre os tipos de motores e a forma da empenagem, mostrando-se, em primeiro plano, uma aeronave de treinamento militar North American T-6, com hélice tratora, motor radial a pistão e empenagem convencional (média), em *cantiléver*, voando em

formação com um Fouga Magister, bimotor a jato, também de treinamento militar, com empenagem em V.



Fonte: Arquivo de imagens da FAB

Figura 12 – Comparação entre o North American T-6 e o Fouga Magister

Retomando a análise da evolução da construção aeronáutica tem-se que a conjugação de vários fatores, a exemplo da identificação do avião como um fator primordial de vantagem competitiva no campo das máquinas bélicas – devido à sua extrema mobilidade e maior velocidade no desempenho de tarefas de observação, reconhecimento e lançamento de (pequenas) cargas bélicas - a baixa concorrência que a matéria-prima da construção aeronáutica oferecia às já tradicionais indústrias de armamentos (que consumiam, principalmente, ferro, aço e madeiras pesadas e nobres) e a utilização intensiva da mão-de-obra de baixa especialização (a única disponível) na sua fabricação, dentre outros, levaram, durante a Primeira Guerra Mundial, a uma expansão extremamente rápida da demanda por aviões de combate das mais diversas classes, como bombardeiros, aviões de reconhecimento, caças e, mais para o final do conflito, grandes aviões de transporte de tropas e cargas – os

quais surgiram, principalmente, da adaptação de aeronaves originalmente dedicadas aos bombardeios para esta função.

Este súbito (e assustadoramente crescente) aumento da demanda por aviões fez com que os principais construtores aeronáuticos dos países beligerantes lançassem mão de toda inovação que estivesse disponível na época, tanto em termos de configuração das aeronaves e seus motores quanto de processos produtivos que, aliados a novos materiais e novas tecnologias, permitissem o rápido desenvolvimento e a fabricação de aviões mais velozes, mais ágeis, que operassem a uma altitude cada vez maior e que pudessem transportar uma carga cada vez maior – e mais letal. Desta maneira podemos visualizar o surgimento, ainda neste período, dos primeiros passos que objetivavam aliar o estágio de montagem final da produção das aeronaves com o sistema de fabricação em linha de montagem em movimento, idealizado para a indústria automobilística em 1913, por Henry Ford, e que, com suas características de alta padronização do produto final, elevada repetitividade na execução das tarefas, fácil treinamento e adaptação da mão de obra não-especializada e, principalmente, a possibilidade de atingir uma cadência de produção bem maior (respeitadas as limitações impostas pelo manejo de estruturas e conjuntos de maiores dimensões) do que a usualmente encontrada nos processos artesanais de construção aeronáutica, possibilitava a disponibilização para a guerra de uma quantidade maior de aviões em um ciclo de fabricação e montagem muito mais curto.

Esta nova maneira de se fabricar e montar aviões favoreceu a ampliação da área das fábricas dedicadas à construção aeronáutica, necessidade imposta pela maior concentração de uma crescente quantidade de matérias-primas, estruturas, motores, conjuntos montados e semi-montados, a maioria de dimensões superiores às encontradas nas indústrias automobilísticas, e que exigia uma área igualmente expandida para sua recepção, armazenagem, movimentação e expedição, bem como a utilização cada vez maior de carrinhos especializados de transporte, dispositivos de

retenção para processamento e montagem, gabaritos especiais para o recorte e a conformação de perfis, cavernas e peças, e gabaritos de montagem e inspeção, dentre outros tipos de ferramental. As próprias máquinas-ferramentas, utilizadas inicialmente na fabricação de motores, pequenas peças e dispositivos foram mudando de forma e tamanho, adequando-se tanto ao aumento da complexidade das peças e ao estreitamento da tolerância na fabricação das mesmas quanto ao crescimento de suas dimensões e peso. A combinação destes fatores, aliados à cadência de produção ainda baixa, se comparada com os padrões da indústria automobilística, ao alto grau de investimento necessário à especialização de máquinas e processos (aliado ao longo prazo para o atingimento do *break-even point* de tal investimento) e à impossibilidade da obtenção de economia de escala para a terceirização da fabricação da maioria dos componentes (que apresentavam pouca ou nenhuma intercambiabilidade com aqueles já fabricados em grande número para as indústrias bélica, ferroviária, naval ou automobilística) levou, como já foi dito, ao inevitável aumento das áreas ocupadas pelas fábricas aeronáuticas, fazendo com que as operações de usinagem, conformação e tratamento de partes, peças, chapas e demais componentes, que não pudessem ser comprados diretamente no estado em que viessem a ser utilizados na linha de montagem dos aviões, também fossem incorporadas ao processo do fabricante aeronáutico, em uma “espiral de verticalização” do processo produtivo que, reforçando-se no estágio construtivo que se seguiria, de construção aeronáutica predominantemente metálica, ainda caracterizava fortemente a indústria aeronáutica até meados da década de 1980.

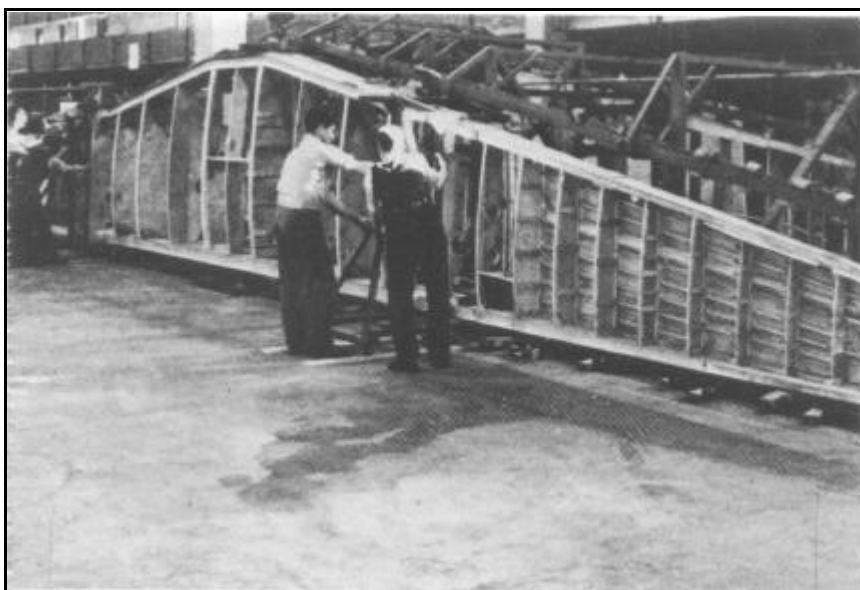
2.1.2 A Construção Metálica

A descoberta feita por um metalurgista alemão, em 1911, de que uma liga de alumínio com cobre resultava em um tipo de alumínio cuja resistência era superior à

do aço de baixo teor de carbono, lançou as bases para a construção de aviões com estruturas e revestimentos de alumínio. O uso destas ligas de Duralumínio, como ficaram conhecidas, permitiu que algumas das forças aerodinâmicas passassem a ser suportadas pelos revestimentos das asas e da fuselagem, dando origem à classe de revestimentos ditos “trabalhantes” (ou *stressed skins*). Tratando-se de avaliar a adaptação dos processos de fabricação e montagem para acomodar a introdução de inovações tecnológicas nos produtos, tem-se que data da época da Primeira Guerra Mundial, mais precisamente do ano de 1915, a construção, na Alemanha, do Junkers J1, primeira aeronave totalmente metálica, de asa *cantiléver*, o que, ao mesmo tempo em que evidenciava a busca por suplantar a limitação do desempenho da aeronave imposta pela utilização dos materiais tradicionais, revelava o caminho a ser seguido no projeto de futuras aeronaves de maior desempenho, velocidade e resistência. Tal inovação, no entanto, demorou cerca de vinte anos para ser reconhecida e implantada nos projetos aeronáuticos dos principais fabricantes do mundo, o que pode ser confirmado pelo fato de ter ocorrido somente em 1933 o voo inaugural do Boeing 247, primeiro monoplano bimotor totalmente metálico, para transporte de até dez passageiros, com asa baixa *cantiléver* e trem de pouso retrátil.

Como era de se esperar, visto tratar-se de um período de relativa paz, entreguerras, a propagação relativamente lenta da inovação representada pela construção metálica aeronáutica (reforçada pelo fato de que a indústria aeronáutica civil dedicava, então, seus esforços no aperfeiçoamento das grandes aeronaves “mais leves que o ar”, os famosos dirigíveis) determinou que, apesar da entrada dos países na Segunda Grande Guerra ter se dado com aeronaves que incorporavam, em sua grande maioria, estruturas monocoque ou semi-monocoque integralmente metálicas, fabricadas em Duralumínio (ou mistas, de metal e madeira) e revestidas de chapas também de Duralumínio, ainda existissem vários projetos antigos que apresentavam estruturas tubulares metálicas recobertas com revestimento entelado, bem como

projetos que, mesmo sendo mais recentes, incorporavam estruturas semi-monocoques em madeira combinadas com revestimento quase que totalmente também feito de contraplacado de madeira colada, como foi o caso do famoso caça-bombardeiro britânico De Havilland Mosquito (cujas interessantes operações de carpintaria e marcenaria, envolvidas em seu processo produtivo, podem ser visualizadas a partir das Figuras 13 a 16, a seguir).



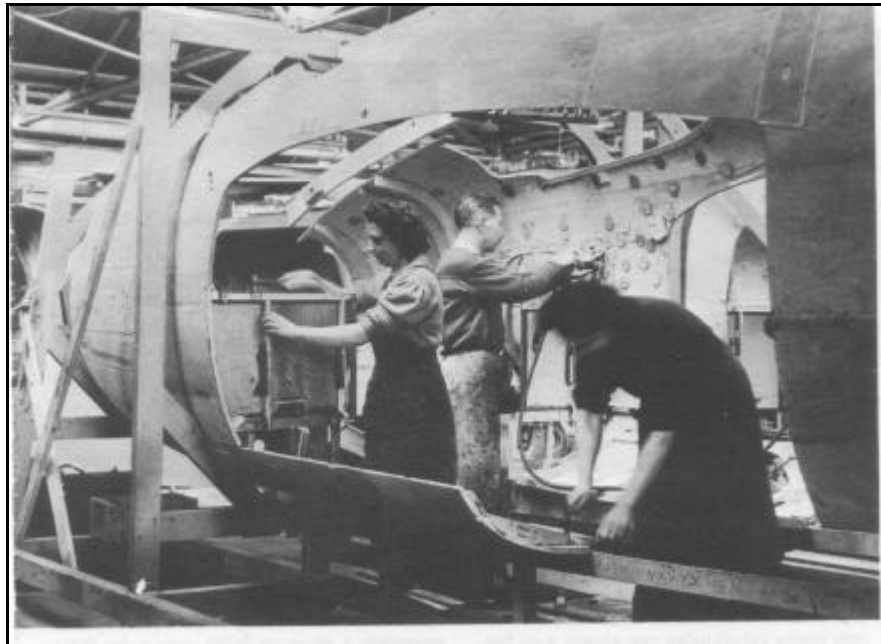
Fonte: História Ilustrada da 2ª. Guerra Mundial

Figura 13 – Montagem das Asas do Caça-Bombardeiro Britânico Mosquito



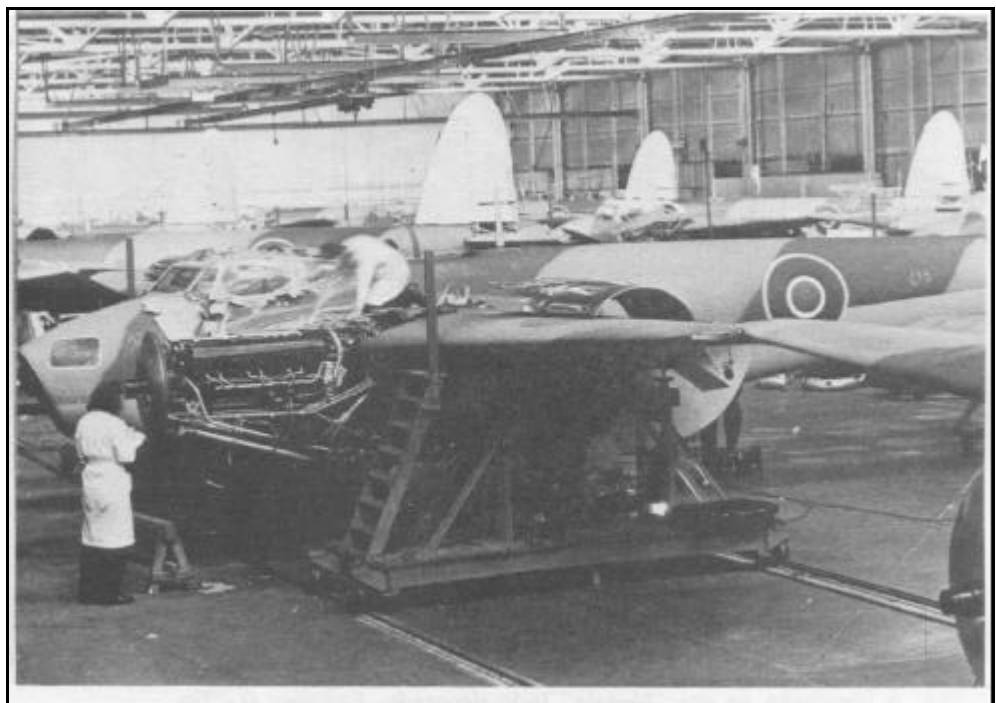
Fonte: História Ilustrada da 2ª. Guerra Mundial

Figura 14 – Desmoldagem de Metade da Fuselagem de Madeira do Mosquito



Fonte: História Ilustrada da 2ª. Guerra Mundial

Figura 15 – Uso de Madeira Favoreceu o Emprego de Mão-de-Obra Não-Especializada



Fonte: História Ilustrada da 2ª. Guerra Mundial

Figura 16 – Um Mosquito em Fase de Montagem Final e Acabamento

Estas características construtivas mistas, e os conseqüentes problemas provocados pela coexistência de processos fabris para a transformação de materiais com propriedades tão diferentes como o Duralumínio e o aço, quando comparados com os tecidos entelados e as estruturas e placas de madeira, tiveram uma duração muito pequena, restringindo-se à fase inicial da Segunda Grande Guerra. Durante o restante do conflito a tecnologia de projeto e construção aeronáutica alavancou fortemente a construção metálica, restringindo a quase totalidade da configuração das aeronaves aos monoplanos construídos em estrutura monocoque ou semi-monocoque, com revestimento de chapas rebitadas de Duralumínio tanto para a fuselagem como para as asas e empenagem, asa baixa, ou média, em *cantiléver*, propulsados por hélices tratoras acionadas por uma quantidade de um a quatro motores, refrigerados à água e com cilindros em linha, ou radiais refrigerados a ar, com trens de pouso retráteis e cauda convencional.

Como já foi visto, o uso generalizado do Duralumínio resultou em estruturas aeronáuticas muito eficientes, sendo que a maioria dos projetos das aeronaves da Segunda Grande Guerra empregava revestimentos trabalhantes em ligas de alumínio. Notavelmente, a maioria das antigas ligas de alumínio desenvolvidas nos anos 30 e 40 ainda é usada extensivamente hoje em dia.

Para melhor se entender o processo de construção aeronáutica metálica predominantemente utilizado durante a Segunda Grande Guerra, faz-se necessário o estudo de um exemplo típico, caracterizado por um dos mais avançados caças americanos da época: o P-51 D Mustang. Note-se que este exemplo pode ser facilmente generalizado para a grande maioria das aeronaves que atuaram no conflito, desde que sejam guardadas as devidas proporções estabelecidas pelas diferenças conceituais de configuração, como dimensões gerais da aeronave, quantidade de motores, número de tripulantes e tipo de missão a que se destinava, dentre outras.

Segundo as notas de aula do autor, o Mustang era um monoplane *cantiléver* de asa baixa, cuja asa, particularmente de fluxo laminar para este caça, consistia de duas seções que eram aparafusadas uma na outra, na linha central da fuselagem, onde a parte superior do conjunto formava o piso da cabina. A asa, com cinco graus de ângulo diedro, tinha uma estrutura metálica de duas longarinas, com a superfície revestida em alumínio Alclad (um dos tipos de Duralumínio), as quais tinham flanges inferior e superior salientes em uma única chapa. O acabamento da asa era crítico para seu desempenho, e por isso tinha uma influência direta na velocidade e alcance do avião. O restante da estrutura consistia de nervuras prensadas, com orifícios circulares feitos nas chapas, para alívio de peso, e traves laterais, ou reforçadores (também conhecidos por *stringers*), perfiladas. Em cada lado da linha de centro e entre as longarinas de cada asa foram colocados tanques de combustível não-metálicos, autovedantes, com uma capacidade total de 184 galões americanos (ou 696 litros), cujo acesso para inspeção e manutenção era obtido através de pequenas janelas na parte inferior de cada asa. A parte traseira da asa alojava os suportes dos ailerons e flapes escamoteáveis, os quais poderiam ser abaixados até 50 graus, em cinco segundos, para permitir que fossem feitos pousos e decolagens curtos, assim como curvas fechadas. O tubo de Pitot (elemento do sistema de indicação de velocidade em vôo) foi adaptado embaixo da asa direita, em cujo bordo de ataque foi instalado um farol de pouso.

A fuselagem do Mustang tinha a forma oval e era formada de três seções – seção do motor, seção principal (da cabina e da junção asa-fuselagem) e seção da cauda. A seção do motor tinha dois berços *cantiléver* em forma de “V”, construídos de chapas finas dobradas e com os números de identificação prensados em cima e embaixo, sendo cada um deles acoplados aos dois pontos da parede de fogo da seção principal, cuja espessura era de 6mm. O motor, um Allison de 12 cilindros em “V”, refrigerado a líquido, gerava 1.500 hp a 11.800 pés (aproximadamente 3.600

metros) de altitude, e foi instalado nesses berços, alojando-se de forma bem justa dentro da carenagem do motor, cujas linhas, nas primeiras versões do Mustang, somente eram interrompidas pela tomada de ar do carburador, montado na parte superior. Para a lubrificação do motor um tanque de óleo, com capacidade para 12 galões americanos (ou 45 litros), foi colocado no compartimento do motor.

A seção principal da fuselagem era composta de duas vigas, cada viga lateral compreendendo duas longarinas que formavam a parte superior; o revestimento era reforçado por armações verticais, formando as nervuras. Essas duas longarinas continuavam atrás da cabina (*cockpit*) –que tinha sido instalada na parte baixa, dentro da fuselagem, para reduzir a resistência ao avanço e cujo acesso era feito por uma pequena porta que abria para o lado esquerdo, enquanto que a capota abria para a direita (nas últimas versões do Mustang esta capota foi substituída por uma cobertura “em bolha”, deslizante, feita de *plexiglass*) – até uma estrutura semi-monocoque que era reforçada por armações verticais.

A parte traseira da seção principal da fuselagem se estendia ainda mais para trás, para formar a seção removível da cauda.

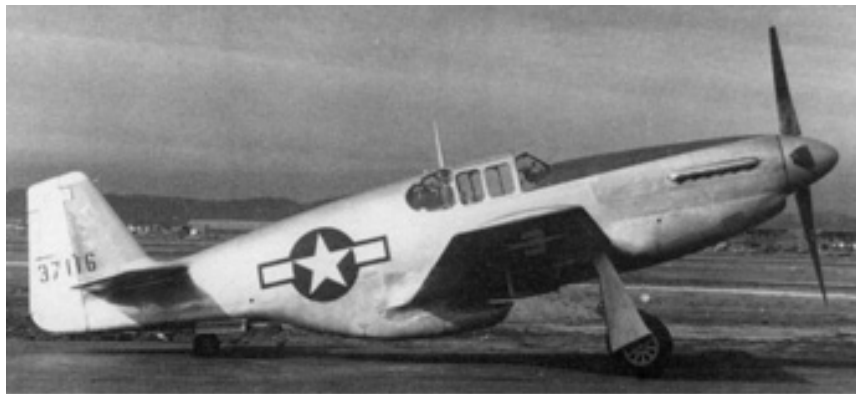
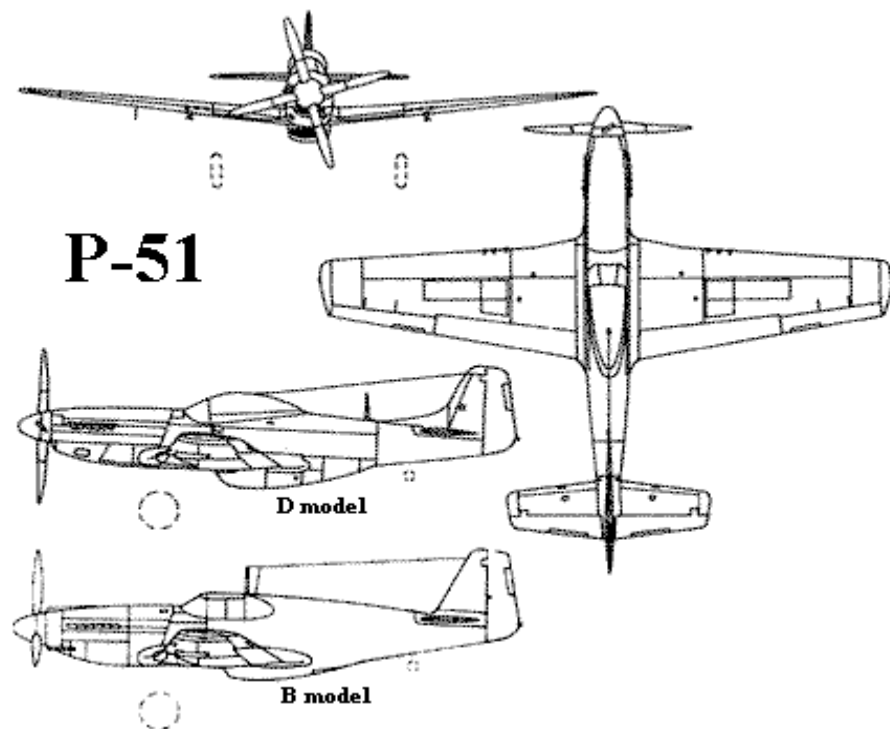
Para a proteção do piloto, o pára-brisa dianteiro era de vidro laminado, de 38mm de espessura, a prova de balas, e uma blindagem de chapas de aço, de 8 e 11mm de espessura, foi adaptada às suas costas. Um pilone reforçado (tipo “santo antonio”) dava proteção em caso de capotagem, e o rádio SCR-695 foi instalado atrás da cabina.

A empenagem *cantiléver* consistia de um estabilizador horizontal com pontas removíveis. O estabilizador horizontal e o vertical eram feitos de duas longarinas com vigas prensadas e rebitadas, sendo também revestidos de alumínio Alclad. Os compensadores eram instalados nas superfícies de controle dinamicamente balanceadas e os profundos e leme de direção eram intercambiáveis.

O trem de pouso e a bequilha comandável eram escamoteáveis, ou retráteis. As duas pernas de força *cantiléver* e seus amortecedores eram presos a suportes fundidos que, por sua vez, eram aparafusados nas nervuras reforçadas das asas. Quando recolhido por pressão hidráulica, o trem de pouso alojava-se à frente da longarina principal e era encoberto pelas portas do alojamento das rodas, sendo que, mesmo quando era baixado, as portas internas se fechavam, para diminuir o arrasto e aumentar o fluxo de ar. Os freios também eram operados hidráulicamente e o trem de pouso, de 11 pés e 10 polegadas (3,63m) de bitola, dava ao avião grande estabilidade quando operando pesado, em terreno irregular.

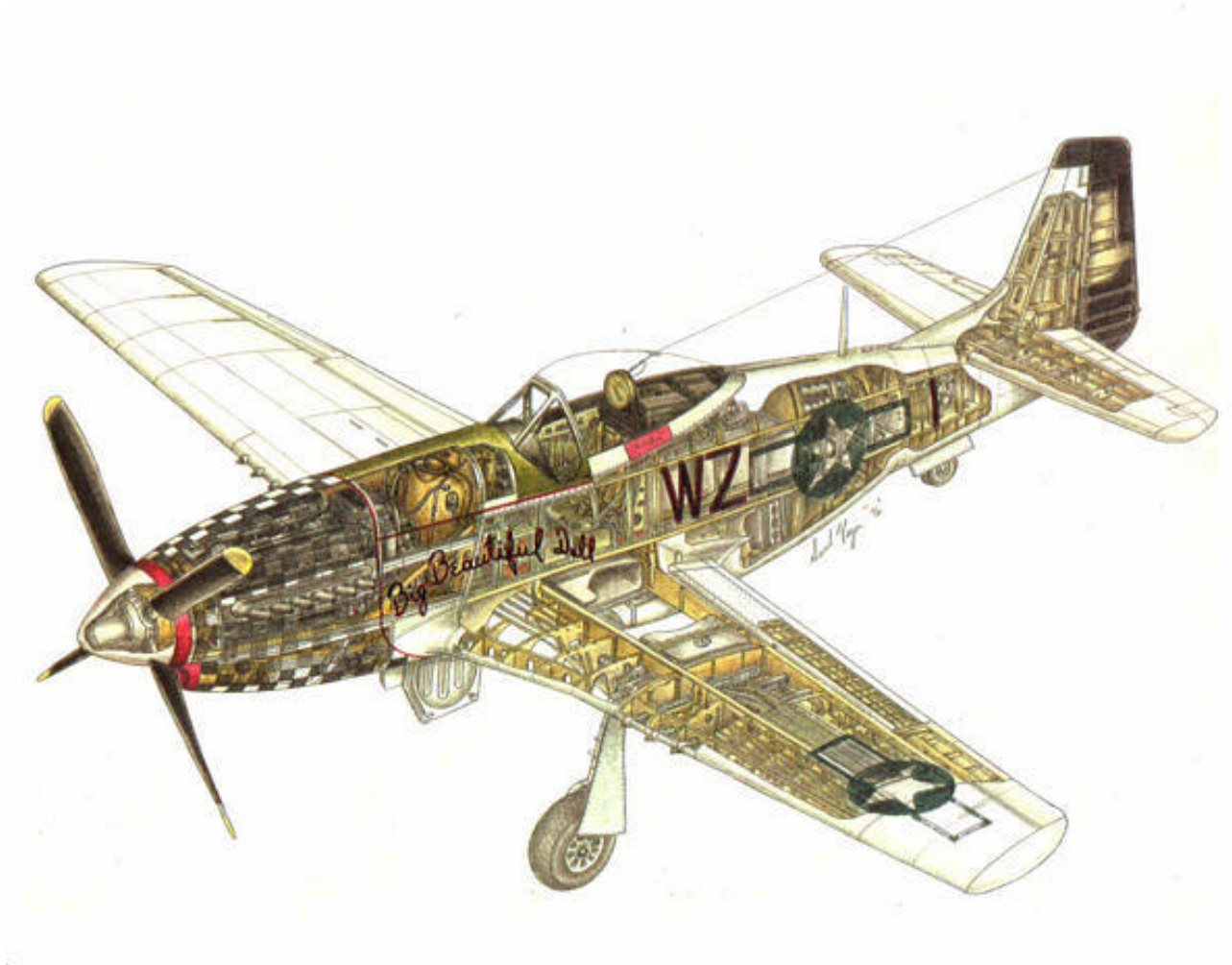
Tendo sido projetado para ser usado pelos ingleses, o Mustang incorporou em seus conceitos a capacidade de ser desmontado em subconjuntos (conforme o sistema *CKD – Crated Knocked Down*), para facilitar a embalagem dos mesmos em caixotes de madeira de 35 pés (10,7m) de comprimento (devidamente cobertos por graxa e envolvidos por uma embalagem protetora), o transporte em containeres e a remontagem do outro lado do Atlântico, já estando pintados com as cores padrão do esquema de camuflagem dos caças diurnos da RAF.

As Figuras 17 e 18, a seguir, ilustram alguns dos detalhes que foram comentados a respeito do caça norte-americano North American P-51 Mustang.



Fonte: Arquivo de imagens da FAB

Figura 17 – Três Vistas e Fotografia do Caça North American P-51B Mustang



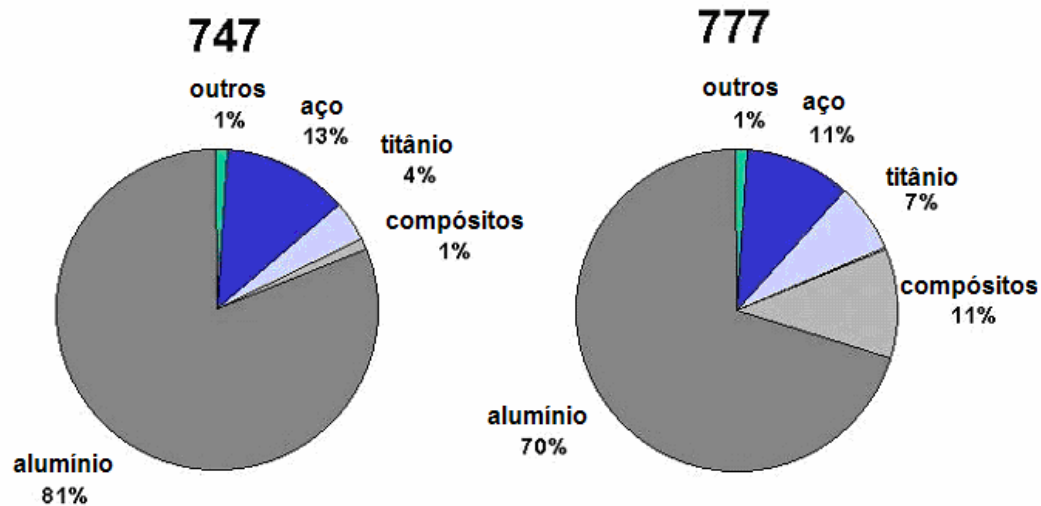
Fonte: Cortesia do MIT

Figura 18 – Vista em Corte do North American P-51D Mustang

2.1.3 A Construção Aeronáutica Moderna

Como já se disse anteriormente, a maioria das antigas ligas de alumínio desenvolvidas nos anos 30 (ST2024) e 40 (ST7075) ainda é usada extensivamente hoje em dia. A Figura 19, à página seguinte, mostra a proporção de materiais estruturais utilizados no Boeing 747, que fez o seu primeiro voo em 1969, e o último modelo do Boeing 777, lançado em 1994. As ligas de alumínio constituem, flagrantemente, a maior proporção de massa estrutural da maioria das aeronaves

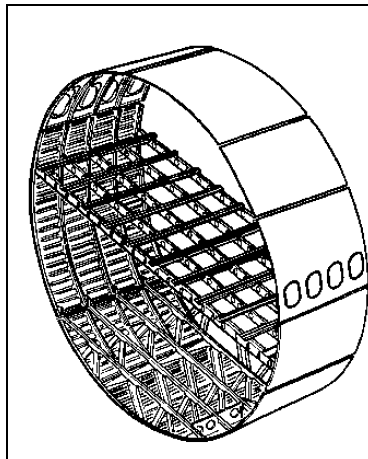
modernas norte-americanas, com os aços, as ligas de titânio e os compósitos estruturais contabilizando cerca de 10%.



Fonte: Boeing

Figura 19 – Distribuição, por Massa, de Materiais Estruturais nos Boeing 747 e 777

A Figura 20 que se segue, procura, por sua vez, ilustrar como o método de construção metálica aeronáutica continua sendo exatamente o mesmo, conforme mostrado nesta seção da fuselagem da aeronave Airbus A340. Pode se ver claramente as estruturas circulares, os reforçadores e as chapas de revestimento, sendo todos estes componentes fabricados em ligas de alumínio. Recentemente uma nova série de ligas de alumínio foi desenvolvida por pesquisadores na área de Materiais Aeronáuticos, com a adição do elemento químico lítio. Estas novas ligas são mais leves e resistentes do que as existentes e estão sendo incorporadas aos projetos mais recentes de aeronaves civis e militares dos maiores fabricantes aeronáuticos da Europa e dos Estados Unidos.



Fonte: Airbus

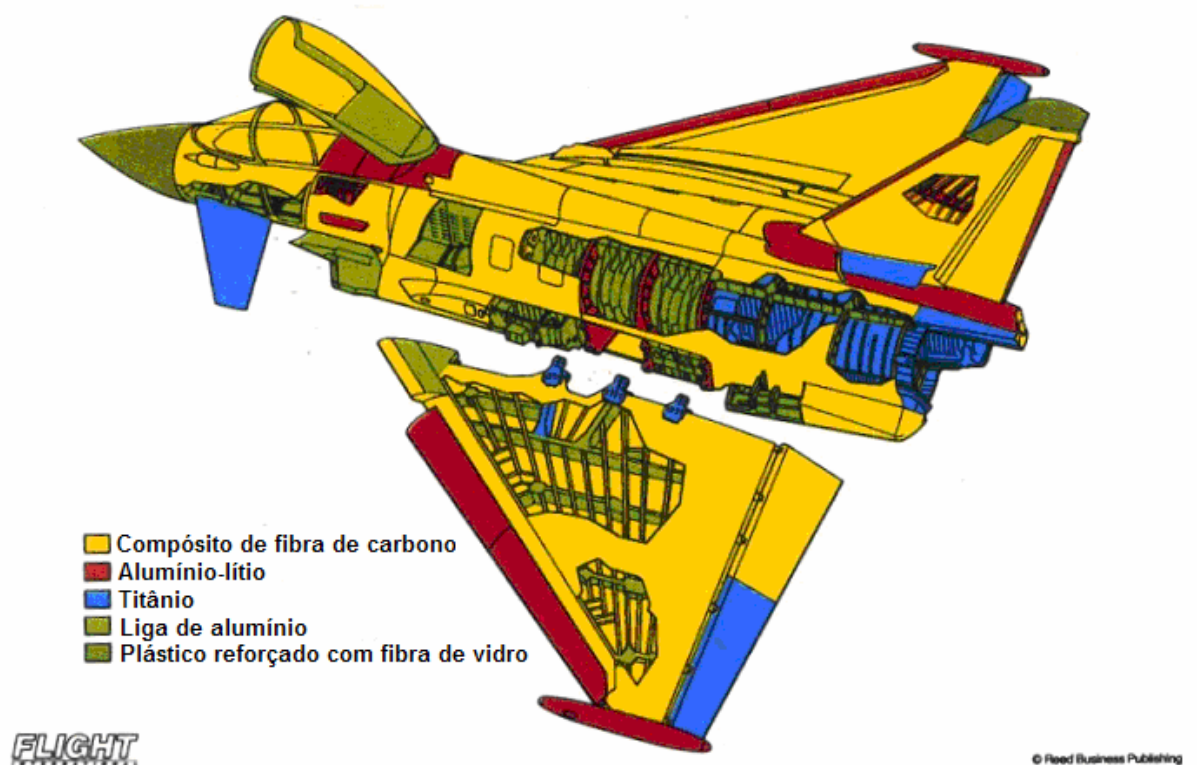
Figura 20 - Método de Construção de Revestimento Trabalhante Utilizado na Fuselagem do Airbus A340.

Tratando-se de abordar a utilização de materiais mais avançados tem-se o titânio, cuja densidade é, aproximadamente, o dobro da do alumínio, mas que, se associado a outros elementos de liga, pode exibir propriedades mecânicas extremamente elevadas. Estas propriedades o tornam especialmente útil nas aplicações onde se necessita de uma alta capacidade de resistência a esforços mecânicos dos mais variados como, por exemplo, nas estruturas dos pilones que suportam os motores nas asas das aeronaves civis de transporte aéreo. A principal razão pela qual as ligas de titânio não são utilizadas de forma mais extensiva nas estruturas aeronáuticas é o seu alto custo, pois as ligas de titânio custam cerca de dez vezes mais do que as ligas de alumínio aeronáutico.

Apesar do aço ter uma densidade muito superior à do alumínio e do titânio, este material pode receber ligas e tratamentos térmicos que resultam em propriedades mecânicas extremamente elevadas, tornando-o útil para aplicações como nos trens de pouso das aeronaves, os quais precisam ser muito resistentes sem, no entanto, ocuparem um volume demasiadamente grande.

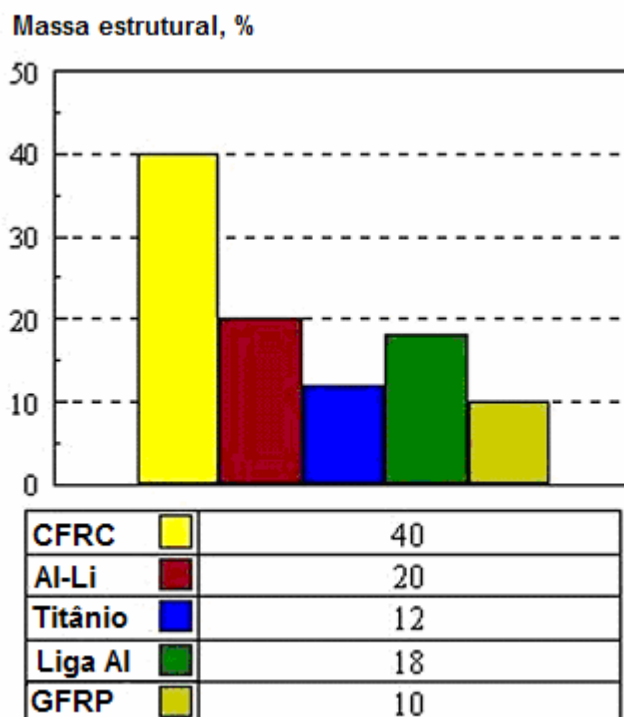
Os compósitos estruturais têm tido uso crescente em aeronaves modernas, principalmente por apresentarem uma conjugação muito atraente de baixa densidade

e elevadas propriedades mecânicas. Os compósitos consistem, geralmente, de uma matriz plástica de resina epóxi, reforçada por várias fibras finas de carbono, boro, vidro ou Kevlar. Os compósitos estruturais estão substituindo as ligas de alumínio em uma escala crescente e muitas aeronaves modernas apresentam estabilizadores verticais e horizontais, lemes de direção, ailerons, flapes, *wingtips* e a maior parte das carenagens (de junção asa-fuselagem, dos motores, do cone de cauda, dentre outras) fabricadas em compósitos. A aplicação dos compósitos nas aeronaves militares tem sido feita em proporções ainda maiores, como exemplificado pelo caça Eurofighter 2000 que apresenta tanto a fuselagem quanto as asas fabricadas em compósitos, como pode ser visto nas Figuras 21 e 22 a seguir.



Fonte: Arquivos da Revista Flight International

Figura 21 – Materiais Estruturais do Eurofighter 2000



Fonte: Arquivos da Revista Flight International

Figura 22 – Distribuição, por Percentagem de Massa, dos Materiais Estruturais no Eurofighter 2000

Faz-se necessário observar, no entanto, que além de ter sido rebatizado como *Typhoon* (termo habitualmente traduzido como Tufão), o Eurofighter terminou por não incorporar a liga de Al-Li(8090) como mostrado anteriormente nas Figuras 21 e 22. A decisão de não utilizar esta liga foi particularmente tomada pela DASA, empresa parceira no consórcio fabricante do Eurofighter e responsável pelo projeto da empenagem, em Outubro de 1995, alegando razões comerciais. Por sua vez, a BAe – British Aerospace, responsável pelo projeto da estrutura dianteira da aeronave, decidiu que não havia sentido em incorporar o Al-Li uma vez que, com a alteração inserida pela DASA, o caça poderia ficar desbalanceado, requerendo o uso de lastro para manter seu centro de gravidade em uma posição adequada.

Pretende-se que a próxima geração de aeronaves de transporte supersônico leve cerca de 200 passageiros a uma velocidade superior a Mach 2.8 (sendo que o

Concorde, desativado ainda durante o ano de 2003, transportava 100 passageiros a Mach 2.2). Quando uma aeronave desloca-se a uma velocidade tão grande por longos períodos de tempo o atrito do ar passando sobre ela aquece bastante as superfícies externas das asas e da fuselagem. Como exemplo, uma aeronave voando a Mach 3 irá sofrer um acréscimo de temperatura de aproximadamente 415°C, devido a este aquecimento cinético. A temperatura máxima das superfícies externas poderá facilmente atingir cerca de 360°C. Uma das principais razões pelas quais estas aeronaves ainda não foram construídas é que os materiais de baixa densidade necessários para operar a estas temperaturas elevadas ainda não foram desenvolvidos (ao menos em escalas viáveis industrial e comercialmente). Os cientistas de materiais estão investigando atualmente alguns compósitos avançados de polímeros e metais, que possam resultar em materiais que sejam leves, resistentes e capazes de suportar elevadas temperaturas, ao longo de uma vida útil de 100.000 horas.

Considerando-se que o material apresentado neste capítulo teve por objetivo fornecer algumas noções básicas sobre a Evolução da Construção Aeronáutica, pode-se mais facilmente acompanhar, nos capítulos que se seguem, as características mais evidentes das Operações ligadas à Moderna Manufatura Aeronáutica, focalizando principalmente as áreas de Desenvolvimento do Produto (com ênfase em algumas Tecnologias de Projeto, Simulação e Ensaios Estruturais), Logística e Movimentação de Materiais (tanto Interna quanto Externamente), e Manufatura propriamente dita (restringindo-se, no entanto, à Fabricação de Partes e Peças, Sub-Conjuntos e Conjuntos Estruturais e, mais especificamente, ao Processo de Montagem Final da Aeronave).

2.2 AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MANUFATURA AERONÁUTICA

Hoje em dia o papel das indústrias aeronáuticas é conceber e construir veículos de toda natureza que possam ser dirigidos acima da superfície terrestre, ou seja, basicamente aviões, helicópteros, mísseis e lançadores de satélites. Esses veículos caracterizam-se pela leveza e resistência de sua estrutura, a potência de seus motores e a agilidade de sua condução. Derivam, portanto, de uma base tecnológica comum, na qual a aerodinâmica, a resistência dos materiais, a termodinâmica e a eletrônica convivem permanentemente e têm aplicações semelhantes.

Sua finalidade comum é o transporte, seja para viagens de passageiros, entrega de fretes, fornecimento de armas ou instalação de sistemas de telecomunicações, observação ou navegação. Na maioria dos produtos dessas indústrias, a busca do desempenho é essencial para o sucesso. Isto depende, antes de qualquer coisa, do objetivo perseguido, que só pode ser atingido se não somente se dispõe dos melhores materiais e componentes, mas também da competição militar e civil, que está constantemente induzindo à inovação. Se for acrescentado que as séries de produção são relativamente curtas, principalmente se comparadas àquelas características das indústrias automobilísticas, fica evidente que o índice de Pesquisa e Desenvolvimento em relação à produção é excepcionalmente alto nas indústrias aeronáuticas, da ordem de 20% em média. Os riscos financeiros daí decorrentes são particularmente altos, sendo compartilhados, principalmente no terreno da defesa, entre os Estados e as empresas. Com efeito, o surgimento dos aviões e em seguida dos mísseis e lançadores de satélites, representou uma drástica reorientação das estratégias militares, de tal modo que já não se concebe superioridade no campo de batalha sem armamento aéreo e espacial de primeiro nível. Constata-se assim que, em média, mais de um terço das verbas de equipamentos militares é destinado ao

setor. Isto explica o fato de que muitos países tenham desejado criar em seu próprio solo uma indústria aeronáutica capaz de lhes proporcionar os meios necessários à concretização de suas ambições. Explica também a existência, em cada país, de uma estreita relação entre o poder público e a indústria aeronáutica, que se traduz particularmente no financiamento da pesquisa e do desenvolvimento de seus produtos e processos produtivos.

Participando da economia de mercado, na medida em que freqüentemente entram em concorrência, as indústrias aeroespaciais nem por isto deixam de constituir um caso excepcional, em virtude das vantagens de que desfrutam e dos limites que lhes são impostos.

Basicamente a indústria aeronáutica atende a dois mercados - civil e militar - com dinâmicas competitivas bastante diferenciadas. Para aeronaves militares, à semelhança do que ocorre para os demais segmentos da indústria de armamentos, é o desempenho do produto que orienta as decisões de aquisição, sendo a capacidade de inovação fortemente influenciada por fatores externos à empresa, cuja administração se situa na órbita estatal. A diferenciação do produto e a segmentação de mercado são estratégias inerentes ao setor de armamentos. Ao contrário do que se verifica no mercado civil, onde as decisões de compra são tomadas por consumidores atomizados, o Estado é, no mercado militar, o único comprador (considerando-se aqui, necessariamente, não somente o Estado em cujo território se localiza a planta fabricante, mas também os Governos e Instituições Policiais e Judiciárias tanto do país “produtor” quanto de países “importadores”).

Segundo Bernardes (2000), a motivação estratégico-militar para a criação e manutenção do setor aeronáutico é fundamental; apesar do fato de que, por exemplo, a produção aeronáutica civil nos países da OECD tenha sido, em 1989, apenas 33% menor do que a militar. Outra motivação, igualmente usada como argumento para legitimar o apoio estatal à indústria aeronáutica, é o fato dela ser considerada uma

"locomotiva" tecnológica, concentrando-se o subsídio ao setor nas atividades de desenvolvimento tecnológico. Nos países da OECD, com exceção do Japão, o governo financia entre 30 e 70% dos gastos de P&D das empresas do setor aeroespacial, o que faz desse setor o de maior intensidade de P&D.

Também o fato da indústria aeronáutica envolver empregos de alta qualificação, embora em pequeno número, é utilizado como argumento para justificar a sustentação do ritmo de atividade da indústria. Os argumentos relacionados à intensidade tecnológica e ao emprego, na medida em que se referem à atividade de empresas que produzem produtos de uso civil e militar, terminam atuando no sentido da manutenção dos subsídios do setor aeronáutico como um todo.

Talvez ainda mais fortemente do que ocorre no mercado militar, no mercado aeronáutico civil os produtos devem atender a rígidos padrões de qualidade, confiabilidade e desempenho, praticamente não existindo *trade-off* ou gradação entre estas características versus o preço de venda. Os produtos possuem elevado valor unitário, alto valor adicionado e são fabricados em séries relativamente pequenas, apresentando, ainda, um ciclo de vida relativamente longo. Isto, associado à complexidade do produto, faz com que a assistência técnica pós-venda seja um fator extremamente importante nas decisões de aquisição. As transações são poucos freqüentes, mas de alto valor, sendo comum a produção por encomenda e a existência de uma elevada interação entre vendedores e compradores (geralmente organizações de grande complexidade e porte, freqüentemente amparadas por bancos e/ou conglomerados financeiros). Os custos de desenvolvimento tecnológico são elevados e crescentes no setor aeronáutico, sendo freqüente a existência de acordos de colaboração entre empresas e países.

Os seguintes dados, obtidos de pesquisadores do *Lean Institute*, permitem caracterizar razoavelmente bem as propriedades do mercado aeronáutico civil:

- Cerca de 90% do mercado dos países de economia não-planificada é suprido por treze empresas com base nos EUA;
- Menos da metade dessas firmas produz motores aeronáuticos;
- 75% da produção norte-americana é de responsabilidade de apenas três companhias;
- Menos de dez países do chamado Terceiro Mundo possuem instalações capazes de produzir aviões, e estas servem quase que tão somente para satisfazer necessidades locais, de cunho estratégico-militar.

Dois fatores foram decisivos para o processo de internacionalização do mercado de aeronaves. Em primeiro lugar, o fato de que, com exceção dos EUA, nenhum outro país possuía um mercado suficientemente grande para arcar com os custos de desenvolvimento e produção de aeronaves. Em segundo lugar, porque os padrões de segurança e desempenho no campo de aviação civil são estabelecidos mediante acordos internacionais.

Principalmente no ramo da construção aeronáutica, a orientação para o mercado externo é determinada pela busca de economias de escala e pelo nível tecnológico exigido para a produção. A entrada de empresas de países, com pequena capacidade tecnológica relativa, na produção aeronáutica costuma se dar em condições difíceis, uma vez que o custo a ela associado tende a ser, à exceção daquele representante da parcela de mão-de-obra, mais elevado. A entrada no mercado internacional, dado que praticamente mandatória, costuma ocorrer a partir da manipulação pela empresa (e pelo país) da única variável de ajuste a seu alcance, isto é, o preço de venda.

Em consequência, a decisão de implantação (e manutenção) da capacidade de produção aeronáutica num dado país não pode prescindir de uma avaliação do custo de oportunidade, ou do nível de subsídio, associado a produzir num patamar de qualidade e desempenho compatível com o estado-da-arte internacional. Este fato é

fundamental para se entender seu processo de desenvolvimento e suas perspectivas futuras.

2.2.1 O Mercado Mundial de Transporte Aéreo Regional

Basicamente o mercado civil de transporte aéreo de passageiros pode ser dividido em três grandes categorias: aeronaves de grande porte (acima de 120 assentos), aviões pequenos (uso executivo, esporte, agrícola, etc) e aviões de médio porte (transporte regional e *commuters*) utilizados pelas companhias de tráfego aéreo regionais (de 10 a 120 assentos). A título de informação complementar tem-se que o segmento do mercado civil preferencialmente explorado pela indústria aeronáutica brasileira é o de aviões de médio porte, utilizados principalmente na conexão entre aeroportos de médio e grande volumes de tráfego.

A categoria de transporte regional e *commuters* é atualmente a que apresenta maior competição, dinamismo e instabilidade negocial. As barreiras à entrada neste segmento são relativamente baixas, assim como é grande o número de falências, incorporações, fusões e associações. O mercado da categoria é segmentado principalmente em função da capacidade da aeronave. Ele é usualmente dividido em três segmentos: 10 a 20 lugares, 20 a 45, e mais de 45 passageiros. No âmbito de um mesmo segmento a decisão de compra das companhias aéreas depende, fundamentalmente, do preço de aquisição por assento. Outros parâmetros, como o custo de operação e de manutenção, e o fato da aeronave ser pressurizada ou não também são levados em conta. Existem atualmente cerca de quinze empresas e dez países envolvidos com a produção de aeronaves de transporte regional e *commuter*.

O fato da categoria dos *commuters* estar mais distante do mercado militar do que os aviões de grande porte não chega a atenuar a tendência à manutenção do protecionismo. No âmbito de parcela considerável do mercado, constituído por países de porte geográfico ou econômico menor, ou que, por qualquer outra razão, possuam

uma percepção de ameaça externa pouco exigente em termos tecnológicos, existe uma relativamente maior associação entre o segmento militar e o de *commuters*. Neste caso, as tênues fronteiras do subsídio ao segmento militar facilmente se confundem e acabam por reforçar o investimento no segmento civil, ao contrário do que poderia ocorrer em países que possuem uma percepção de ameaça mais exigente em termos tecnológicos.

Um fato marcante na evolução da categoria dos *commuter* foi a desregulamentação do mercado norte-americano de transporte aéreo em 1978. Com a desregulamentação, um grande número de pequenas empresas aéreas entrou no mercado e algumas grandes empresas diversificaram sua atividade no sentido da aviação de curta distância. Como resultado do aumento da competição, houve um aumento da qualidade dos serviços, os preços diminuíram e a demanda aumentou sensivelmente (as cerca de 180 empresas aéreas regionais norte-americanas transportam atualmente mais de 30 milhões de passageiros por ano, o que representa um pouco mais da metade do total mundial).

Devido ao fato de que a principal variável de ajuste passou a ser o tipo de aeronave empregado, o mercado da categoria transformou-se significativamente, aprofundando-se sua segmentação.

Após mais de duas décadas de desregulamentação observa-se que as companhias de aviação regional têm-se mostrado capazes de pressionar os preços das aeronaves que utilizam, mantendo-os num nível extremamente próximo ou, por vezes, inferior ao do custo real de produção. Se isto, por um lado, tem levado as empresas aeronáuticas a exigir a manutenção de um alto nível de subsídio por parte dos governos dos países produtores, por outro lado as tem obrigado a reduzir seus custos de produção e principalmente de desenvolvimento.

Esse processo tem levado a importantes transformações no mercado de transporte regional e *commuters*, apresentadas a seguir:

- fortaleceu-se a exploração do “conceito de família” na produção de aeronaves regionais e *commuters* - para o fabricante as principais vantagens são a economia de escopo no projeto (com conseqüente redução de custo e tempo de desenvolvimento) e produção. A experiência de algumas empresas tem mostrado que os custos de desenvolvimento podem ser reduzidos praticamente à metade para o segundo membro de uma família de aeronaves. Existem, por outro lado, consideráveis vantagens para o usuário, o que torna essa tendência ainda mais significativa. A existência de muitos componentes e sistemas comuns permite a redução de itens em estoque e de despesas de manutenção e reparo, e uma não menos importante redução dos gastos de treinamento operacional de pessoal embarcado e de terra. Confirmando especificamente o importante papel desempenhado pelas tecnologias de manufatura neste conceito de família de aeronaves tem-se a validação da estratégia de desenvolvimento de plataformas de produtos conforme citado por Meyer e Lehnerd (1997, p.47), em uma tradução livre feita pelo autor:

As tecnologias de manufatura podem ser tão críticas para a criação de poderosas plataformas de produtos quanto as tecnologias dos componentes em torno das quais elas são projetadas. Em muitas indústrias – de vidro, refinarias, e assim por diante – as firmas com as melhores tecnologias de manufatura são, claramente, as vencedoras. Para aquelas indústrias, **o processo é a plataforma**. Para uma série de outras indústrias a manufatura é equiparada com a tecnologia do produto, em termos de criação de plataformas de produtos bem sucedidas.

Tanto para produtos montados quanto individuais, a tendência é considerar a evolução dos elementos do processo de uma plataforma de produto como aumentando de volume ou capacidade. No entanto, a evolução dos processos de manufatura também representa uma oportunidade para inovação. Uma falta de inovação ou de flexibilidade que seja embutida no processo produtivo irá restringir a variedade de versões do produto que possam derivar do processo básico. A

manufatura flexível tem uma enorme implicação no projeto de uma planta fabril e de equipamentos, nos padrões de alocação de recursos e na amplitude de variedades de produtos que uma empresa possa trazer para o mercado.

- detecta-se uma forte tendência ao aumento dos custos de desenvolvimento - o aumento da competição entre as companhias de aviação exerce pressão no sentido da sofisticação das aeronaves (pressurização, vão livre da cabine, nível de ruído, autonomia, entre outros), levando a um contínuo aumento dos custos de desenvolvimento e produção das aeronaves. Utilizando-se como base os estudos preliminares feitos pela Embraer no desenvolvimento da família de aeronaves EMBRAER 170-190, tem-se que, atualmente, as despesas de desenvolvimento de uma nova aeronave de transporte regional, na faixa de 70 a 120 passageiros, são da ordem de 1,5 a 2 bilhões de dólares, sendo as de P&D correspondentes a cerca de 400 a 650 milhões de dólares, o que torna o número de unidades fabricadas necessárias para amortizar estes custos superior a 300 aeronaves. Assim, mesmo com a exploração do conceito de família de aeronaves, tendem a ocorrer níveis de investimento além das possibilidades de auto-financiamento das empresas do segmento regional/*commuter*, o que vem a reforçar a tendência à cooperação entre as empresas do setor.

A situação descrita, de relativa superioridade do lado da demanda no mercado de transporte regional e *commuters*, é agravada pelo fato de que as empresas aeronáuticas costumam entrar no mercado com uma nova aeronave num estágio imediatamente posterior ao do desenvolvimento do produto, no qual o subsídio governamental é usualmente elevado. Mesmo quando a empresa consegue capturar uma fatia importante do mercado, o que tende a ocorrer mediante a adoção de preços subsidiados, ela poderá ser forçada a mantê-la por mais de uma década, prazo no qual se espera

amortizar o investimento realizado. Na medida em que este é um comportamento generalizado entre os produtores, tende a se instaurar uma situação de protecionismo.

- efeitos sobre a curva de aprendizado - embora tenda a ocorrer um ganho de aprendizado na produção de uma determinada aeronave, à medida em que ela é utilizada pelas companhias de aviação tendem a ser requisitadas modificações às vezes significativas. Estas modificações atuam no sentido de atenuar a tendência à redução do custo unitário de produção. Cada vez que ocorre uma modificação significativa na concepção dos produtos, ou nos processos de fabricação, existe a forte tendência a iniciar-se um novo período de aprendizado no interior da empresa. Também as inovações de processo introduzidas na área de manufatura e, principalmente, de projeto do produto, tendem a impactar a validade do conceito de curvas de aprendizado como fator redutor do custo unitário de produção, e talvez, inclusive, a invalidar a sua aplicação prática no ramo de manufatura aeronáutica. Esse fato, em um setor submetido a rígidos requisitos de qualidade, segurança e desempenho definidos internacionalmente, faz com que o subsídio não possa ser assumido como uma situação transitória.

2.2.2 Situação Atual e Perspectivas do Mercado de Transporte Regional e Commuters

É elevado o número de países, empresas e modelos presentes no mercado de transporte regional e *commuters*. É elevada também a quantidade de associações entre países para desenvolver um número crescente de novas famílias de aeronaves. Existem, entretanto, uma média de cerca de três a quatro modelos em processo de desenvolvimento para cada uma das aeronaves atualmente no mercado.

A presença norte-americana no mercado de transporte regional e *commuters* é consideravelmente menor do que a verificada na categoria das aeronaves de grande porte (10% da oferta total com apenas duas empresas atuando no segmento de aeronaves de menor capacidade e sofisticação, onde detêm cerca de 53% do mercado). Entretanto, grande parte dos aviões produzidos no mundo utiliza componentes norte-americanos. Isto porque embora a capacidade de engenharia de sistemas desenvolvida pelas empresas "montadoras" nos vários países seja uma condição necessária à sua competitividade, um elemento também crucial é a qualidade dos componentes que incorpora em seus produtos.

A superioridade norte-americana no mercado de aeronaves civis, tanto do lado da oferta de componentes e de aeronaves de grande porte (cujo valor de produção total é muito maior do que o de transporte regional e *commuters*), como do lado da demanda, é um elemento explicativo da difícil situação que se observa à escala internacional neste mercado. A tendência gerada por essa superioridade tende a reforçar os condicionantes ligados às motivações estratégico-militares e de prestígio, internos a cada um dos países presentes no mercado, levando a uma situação que pode ser considerada como de impasse. Algumas poucas firmas poderão alcançar sucesso, a partir de uma competitividade real ou baseada no subsídio governamental (velado ou tornado público). Outras necessitarão ser socorridas pelo Estado, ou até mesmo absorvidas por um competidor mais forte (a exemplo do ocorrido com a Fairchild-Dornier).

Apesar da qualidade de seus produtos, e de sua capacidade tecnológica e mercadológica, as dificuldades apresentadas pelas empresas líderes a partir de meados dos anos 1980 somente vieram a reforçar a necessidade do vínculo entre o Estado e as indústrias aeronáuticas representado pelo subsídio às operações destas últimas. A gravidade do quadro que se afigurava àquela época pode ser avaliada pelos seguintes exemplos:

- na Europa, Fokker, SAAB, DASA, Alenia e Aeroespatale foram socorridas pelos seus respectivos governos para sanear sua situação financeira e prosseguir desenvolvendo seus produtos. Tal medida temporária revelou-se, no entanto, insuficiente para impedir tanto a falência do fabricante holandês (a Fokker) quanto a fusão da Dornier alemã com a americana Fairchild;
- nos EUA, a Beech passou por dificuldades, tendo despedido pessoal e diminuído a produção no final da década passada. A Fairchild abriu falência e despediu pessoal em 1989, mas posteriormente obteve um empréstimo para retomar a produção. A Piper abriu falência em 1992 e manteve sua produção praticamente paralisada por um bom tempo. Ocorreram ainda uma série de privatizações e incorporações, como a aquisição, pela Bombardier, da Canadair do governo canadense, em 1988, tendo este assumido o compromisso de custear o estágio final de desenvolvimento do seu jato regional.

2.2.3 As Atuais Tendências de Inovação e a Indústria Aeronáutica

A alta concentração de atividades de P&D que apresenta o Setor Aeronáutico como um todo determina que muitas das inovações de produto e de processo geradas nas últimas décadas e posteriormente difundidas para o conjunto da indústria tenham sido nele originadas. Como exemplo tem-se que a Indústria Aeronáutica foi o setor que primeiro adotou processos automatizados de projeto e manufatura dos componentes que integram seu produto final. A exigência de rígidos padrões de qualidade, segurança e confiabilidade de seus produtos, mais do que a diminuição dos custos de produção, foi a causa principal deste pioneirismo. Inovações como o comando numérico computadorizado (CNC) e os sistemas CAD/CAM/CAE, entre outros, foram desenvolvidas no seu âmbito. Foi, por outro lado, um dos setores que mais cedo introduziu nos seus produtos dispositivos informatizados de controle, inaugurando,

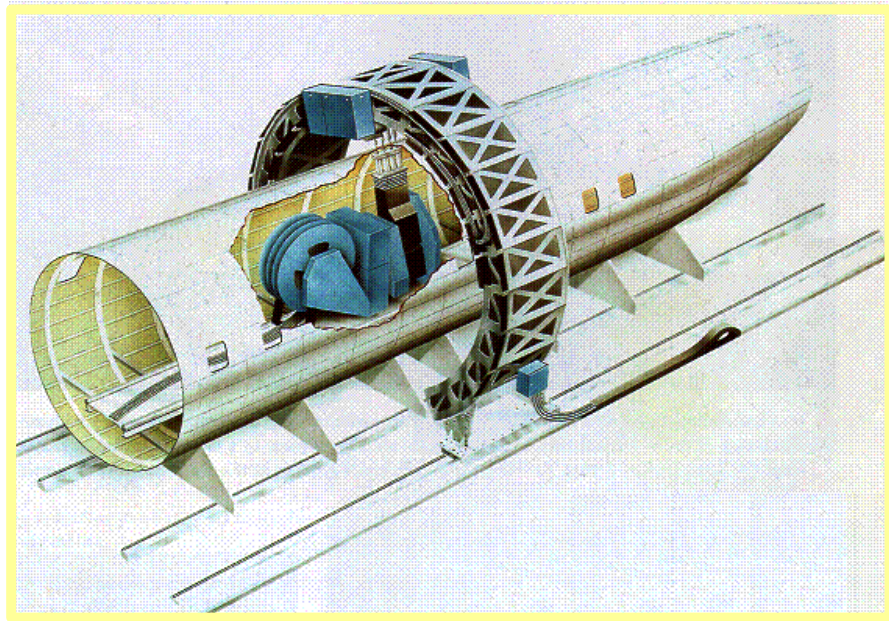
também, a tendência à miniaturização dos seus componentes e deflagrando a difusão do que se conhece como "eletrônica embarcada".

Mais do que outros setores que fabricam produtos complexos e de grande porte, resultantes da integração de um grande número de componentes fabricados separadamente, e por um grande número de empresas, a produção aeronáutica é dividida em duas fases que guardam especificidades bastante marcadas. A fase de produção de componentes, como acima indicado, tem-se alterado profundamente do ponto de vista tecnológico nos últimos anos, na esteira de uma tendência internacional dominante manifesta na indústria em geral.

A fase de montagem, entretanto - e em função dos mesmos requisitos de qualidade, segurança e confiabilidade, e das pequenas séries de produção e alto valor unitário que caracterizam a indústria aeronáutica - foi, até bem recentemente, a menos afetada pelas tendências de mudança na organização da produção que caracterizam setores que guardam certa semelhança com este, como a indústria automobilística (para ter-se uma idéia das diferenças que guarda em relação à indústria automobilística, vale mencionar que o preço unitário de um pequeno avião se estima em centenas de milhares de dólares e que os maiores volumes comercializados de um mesmo modelo, vendido ao longo de vários anos a um restrito número de clientes, em geral empresas de grande porte, se contam em centenas de unidades). Assim, diferentemente de outros setores industriais de produção seriada ou contínua, onde a informatização tem penetrado maciçamente em todas as fases do processo produtivo e onde as novas formas de organização do trabalho estão revolucionando os métodos tradicionais, a fase de montagem de aeronaves conservava algumas características de produção quase artesanal, intensiva em mão-de-obra qualificada e baseada no saber especializado de grupos de trabalhadores. Não obstante a recente incorporação de modernas técnicas de montagem e de equipamentos desenvolvidos especificamente para se aumentar a produtividade nas

operações envolvidas, como é o caso das máquinas automáticas de rebite (cujos exemplos podem ser vistos nas Figuras 23 e 24 da página seguinte), dos sistemas de alinhamento a laser e dos dispositivos de montagem de tamanho regulável, a competitividade nesta indústria ainda se baseia mais na capacitação científica e tecnológica do que no aproveitamento das novas tendências associadas à flexibilização e integração.

As características estruturais já apontadas da Indústria Aeronáutica tornavam, até bem recentemente, pouco atrativa a difusão em seu interior das tendências à maior flexibilização e integração entre as diversas fases do processo produtivo (projeto, produção e distribuição) facultada pelas inovações baseadas na informatização. Em consequência, as oportunidades de exploração das fronteiras de aumento da competitividade não estritamente tecnológicas, abertas por essa tendência em grande parte dos setores industriais, encontravam-se de certa forma limitadas. Apesar de na produção de aeronaves de emprego civil ter havido uma incidência bem maior de incorporação daquelas tendências, isto não é vislumbrado, ao menos no prazo imediato, como sendo passível de um nível de automação igual àquele encontrado nas montadoras automobilísticas, tendo em vista: (a) o virtual obstáculo que representa a fase de montagem final e integração dos grandes conjuntos; e (b) o investimento necessário em maquinário especializado de grande porte, que teria um impacto relativamente pequeno em termos de redução de custos. Por essas razões, e mais do que em outros setores de intensidade tecnológica semelhante, onde as tendências descritas se manifestam com grande ímpeto, a capacidade de inovação desta indústria se baseia ainda, fundamentalmente, na capacitação científica e tecnológica.



Fonte: adaptado da Embraer

Figura 23 – Desenho Ilustrativo da Operação de uma Rebitadeira Automática



Fonte: Boeing

Figura 24 – Rebitadeiras Automáticas em Operação na Linha de Montagem do 737 e BBJ

(*Boeing Business Jet* – Versão Executiva do 737)

2.2.4 Divisão Clássica das Aeronaves em Subconjuntos para Fabricação e Montagem

Para facilitar a compreensão do nível de complexidade envolvido na fabricação de uma aeronave de transporte aéreo regional, explicita-se a seguir a sua típica Estrutura de Fabricação e Montagem, que pode ser subdividida da seguinte maneira:

Área de Estruturas:

Operações de Montagem de Conjuntos e Subconjuntos:

- Superfícies de Controle (de Vão)
- Subconjunto da Seção do Nariz da Aeronave (extremidade frontal da Fuselagem Dianteira, à frente da Cabine de Pilotagem, incluindo o *radome*)
- Conjunto do Trem de Pouso (ou Trem de Aterrissagem)
- Conjunto da Cauda (compreendendo a montagem das Superfícies Traseiras de Controle – Estabilizador Vertical e Leme de Direção, Estabilizadores Horizontais e Profundores – na extremidade traseira da aeronave, incluindo, na maioria das vezes, o conjunto da APU – *Auxiliary Power Unit* – Unidade Auxiliar de Potência)
- Conjunto das Asas (composto ou por duas Semi-Asas, unidas entre si pela estrutura do *Wing Stub* - ou Caixa Central – ou pela Asa construída e montada de forma a caracterizar uma estrutura única, integral)
- Conjunto da Caixa de Transmissão (*Torque box*) – principalmente para aeronaves turboélice
- Conjunto da Caverna de Pressão (*Bulkhead assembly*)
- Conjunto do(s) Motor(es)
- Instalação do Trem de Pouso Principal na Fuselagem (ou nas Asas)
- Instalação do Nariz (*radome*) na Fuselagem Dianteira
- Instalação/Equipagem do *Canopy*

- Montagem das áreas da Cabine de Pilotagem e da Cabine de Passageiros (*Cockpit*)

Instalação das Portas:

- Porta(s) de acesso à Cabine de Passageiros
- Porta de acesso para abastecimento
- Porta de acesso ao compartimento de aviônicos
- Portas das baias dos trens de pouso (principal e auxiliar)

Montagem/Junções:

- Junção das Seções da Fuselagem (Dianteira/Central/Traseira)
- Junção da Cauda à Fuselagem
- Junção da Asa à Fuselagem

Operações de Fabricação de Peças:

- Caverna de Pressão (*Bulkhead*)
- *Spars*
- *Ribs*
- *Stringers*
- *Canopy Rails*
- Painéis de Revestimento (*Skin Panels*)
- *Keel beam*
- Estrutura do Trem de Pouso (Principal e Auxiliar)
- Quaisquer componentes principais dos conjuntos acima mencionados

Área de Motores:

Operações de Montagem:

- Montagem do Rotor (Pás ao Disco)

- Montagem do Compressor de baixa pressão
- Montagem do Compressor de alta pressão
- Montagem do Compressor de pressão intermediária
- Montagem da Câmara de Combustão (*Combustor*)
- Montagem da Caixa de Acessórios (*Accessory gearbox*)
- Montagem da Cablagem
- Montagem da Turbina de baixa pressão
- Montagem da Turbina de alta pressão

Operações de Fabricação de Peças:

- *Blade root form grinding*
- Discos do Rotor
- Eixos do Compressor
- Câmara de Combustão (*Combustor*)
- Engrenagens
- Carenagens (*Cowlings*)
- Cobertura / Invólucro do Compressor
- Cobertura / Invólucro da Turbina
- Alojamento(s) do(s) Mancais
- Pás do *Fan*
- Difusores de Ar (*Air diffusers*)

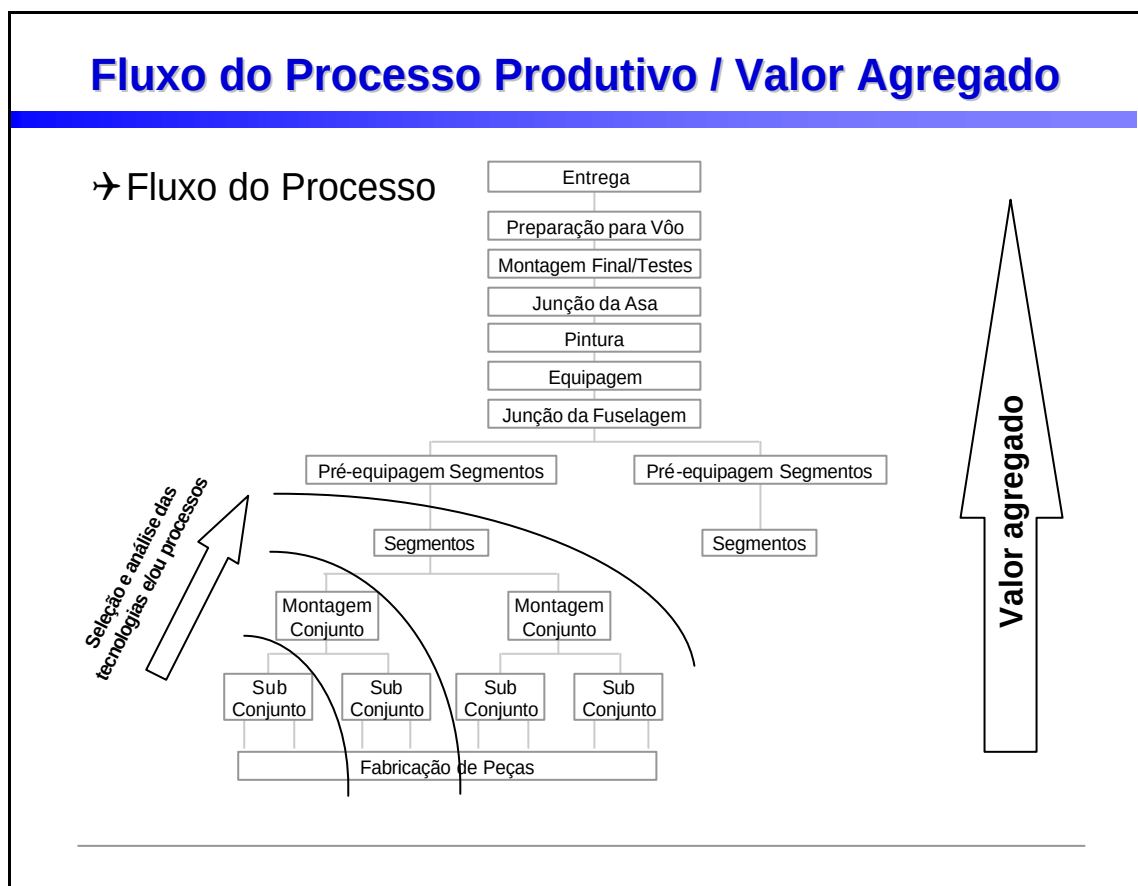
Área de Eletrônicos (ou Aviônicos):

Operações de Montagem:

- Montagem das Placas de Circuitos Impressos (incluindo todas as operações de fabricação dos componentes das próprias placas)
- Montagem de Superfície de componentes simples

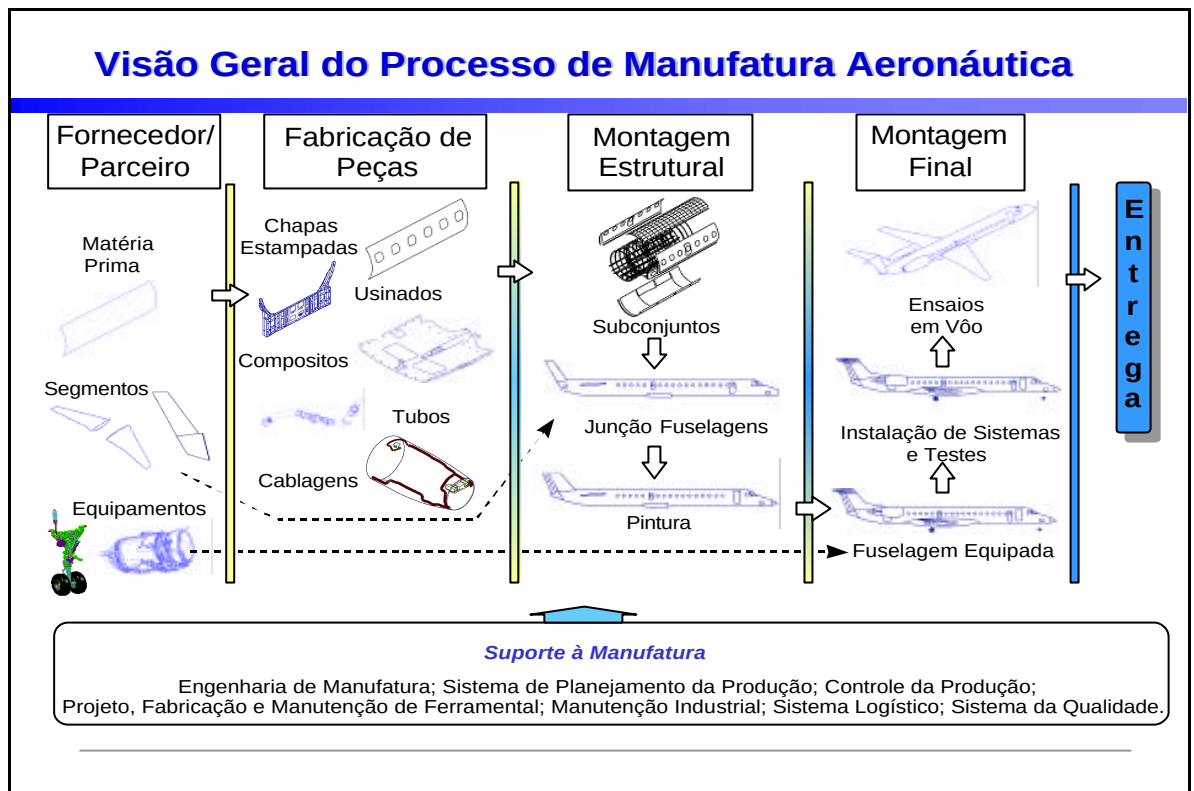
- Montagem Manual de componentes
- Testes de componentes
- Testes Funcionais
- Soldagem por Ondas (*Wave solder*)
- Montagem em placas simples
- Montagem de Superfície de Componentes Complexos

Por sua vez, a maior parte do Processo Produtivo Aeronáutico pode ser, genérica e resumidamente, visualizado nas Figuras 25 a 27, a seguir:



Fonte: adaptado da Embraer

Figura 25 – O Fluxo do Processo Produtivo e do Valor Agregado



Fonte: adaptado da Embraer

Figura 26 – Visão Geral do Processo de Manufatura Aeronáutica



Fonte: Embraer

Figura 27 – Montagem Final em Linha dos ERJ-145

2.2.5 A Globalização da Produção e do Fornecimento de Materiais, Peças e Componentes Aeronáuticos

2.2.5.1 A evolução do setor e seu caráter de dependência em relação ao exterior

O êxito competitivo alcançado pelas principais indústrias aeronáuticas da atualidade pode ser avaliado, em primeira instância, pela evolução do faturamento e pelo desempenho exportador das empresas.

A evolução da produção é marcadamente influenciado pelo mercado externo, o que, por si só, indica o duplo aspecto de dependência em relação ao exterior que caracteriza o setor. A existência de um alto volume de exportação e de importação não chega a ser surpreendente, tendo em vista as características da indústria aeronáutica. Preocupante é quando a participação relativa que as importações assumem em relação à produção torna-se extremamente elevada.

A simples consideração da alta proporção das importações no valor da produção (da ordem de 50%, em média, para países que não os EUA e a Rússia) seria suficiente para questionar o argumento da importância do setor em nível do comércio exterior de um país. Na realidade, essa proporção é consideravelmente subestimada, pois não inclui o valor das importações "embutidas" nos insumos produzidos pelos numerosos fornecedores locais.

A existência de uma alta dependência em relação à importação não caracteriza, entretanto, uma situação de dependência tecnológica. A autonomia tecnológica não se reflete, necessariamente, no índice de nacionalização, uma vez que o controle da tecnologia pode ser uma meta mais importante.

Como exemplo pode-se tomar o que ocorreu em nosso país. Se as autoridades do setor aeronáutico tivessem perseguido a "miragem" do índice de nacionalização, ele poderia ser hoje bastante superior a 50%. Isto, entretanto, teria implicado na adoção de uma estratégia tecnológica totalmente diferente da que foi adotada. Ao

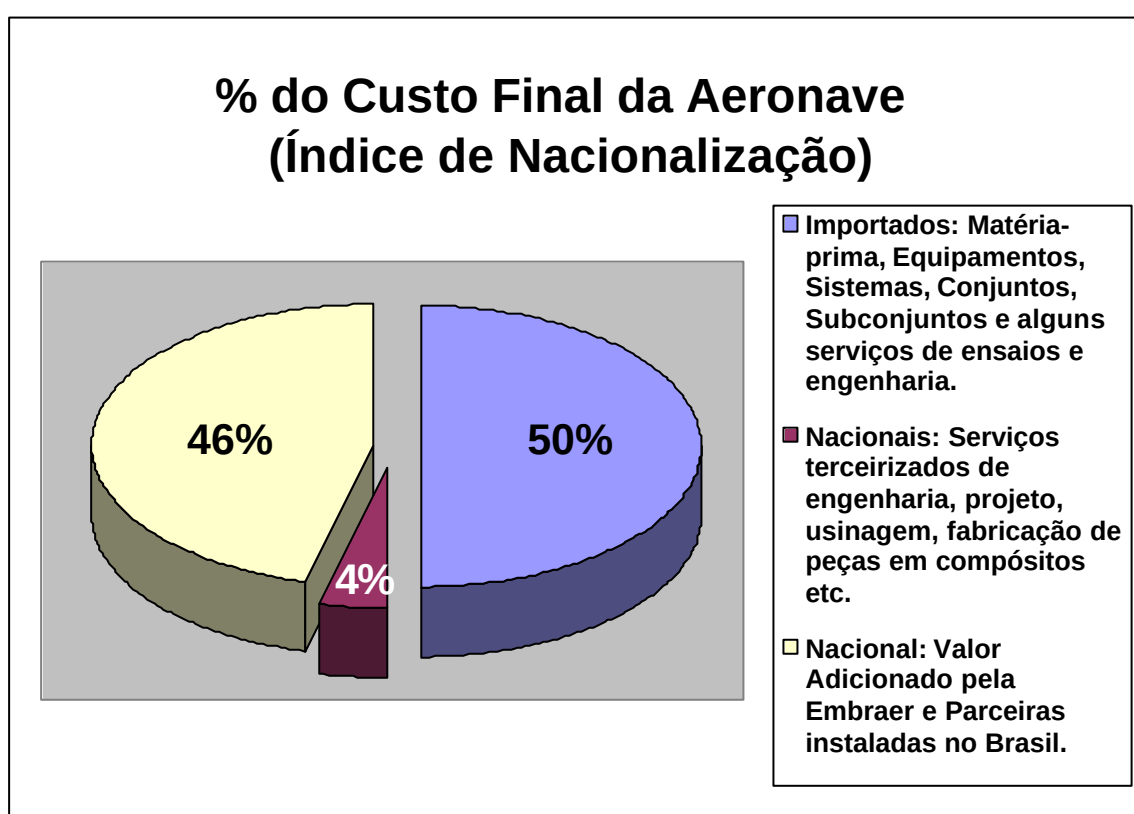
invés de especializar-se em segmentos tecnológicos nos quais a capacidade e vocação pudessem apresentar vantagens comparativas, o setor teria buscado a verticalização integral, com a produção local de todos os componentes do avião. Para se ter uma idéia do que isto implica, basta mencionar que o número de países que fabricam motores aeronáuticos com tecnologia própria não é superior a cinco.

Ao contrário do que poder-se-ia imaginar, muitas vezes nem mesmo as matérias-primas e componentes aparentemente menos sofisticados, como as chapas de alumínio, extensamente empregadas na fabricação de aeronaves de transporte regional, são produzidos no país. No Brasil, os requisitos de desempenho, segurança e qualidade já comentados obrigam que a lista de itens importados pelos fabricantes aeronáuticos locais praticamente se confunda com a de insumos utilizados na fabricação de seus produtos.

Entre os principais países fornecedores de insumos para a indústria aeronáutica estão os EUA (*kits* de aviões leves, placas e chapas de alumínio, componentes extrudados em plástico e alumínio, fundidos e forjados, conectores elétricos, eletrônicos e hidráulicos, placas e chapas de inox e outras ligas, parafusos, porcas, e rebites especiais, válvulas, aviônicos, motores, unidades auxiliares de potência, aviônicos e instrumentos analógicos e digitais, etc.), Grã-Bretanha (motores e instrumentos), França (peças e componentes, aviônicos), Itália (*kits* de aviões militares, peças e componentes), e Canadá (motores). A participação dos EUA, seja como mercado receptor para a produção da empresa, seja como supridor dos principais insumos que a torna possível, é muito significativa, fato que confirma a tendência internacional.

Portanto, os indicadores globais de desempenho mostram que a dependência da indústria aeronáutica em relação ao exterior é grande e tende a manter-se assim, direta ou indiretamente. Esta característica é especialmente preocupante em relação às importações, embora possa ser também questionada a alta participação das

exportações na receita das empresas. O fato de que a Indústria Aeronáutica, em nível mundial, tende a ser altamente subsidiada e que tende a vigorar um mecanismo bastante distorcido de fixação de preços no mercado internacional, exige dos dirigentes do setor uma análise mais aprofundada acerca da real conveniência em se incentivar a adoção de um perfil exportador como o observado. Ele poderia estar, na realidade, implicando perda líquida de recursos ou escasso efeito benefício/custo global.



Fonte: adaptado da Embraer

Figura 28 – Índice de Nacionalização (% do Custo Final da Aeronave)

2.3 OS PRINCÍPIOS DO SISTEMA DE MANUFATURA ENXUTA

2.3.1 Um Breve Histórico da Manufatura Enxuta

O conceito e a aceitação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) como um conjunto de princípios encontram-se, nos dias de hoje, fortemente embasados na literatura especializada, a exemplo de Womack, J.P., Jones, D.T. e Roos, D. (1992), Krafcik, J.F. (1998) e Monden, Y. (1983). Os princípios em que se fundamenta a Manufatura Enxuta não são, em si próprios, totalmente novos, uma vez que muitos deles podem ser rastreados até os trabalhos pioneiros de Deming (Deming, W.E. em muitos de seus trabalhos, sendo os princípios que foram melhor aproveitados aqueles advindos de “*Out of the Crisis, Quality, Productivity and the Competitive Position*”, Cambridge University Press, Cambridge, 1986), Taylor (*The Principles of Scientific Management*, Harper Bros, New York, NY), Skinner (1969) e, mais recentemente, nas investigações de pesquisadores ingleses, como Hill (1993), Voss (1994), Voss & Karlson (Eds), em particular, Voss, C.A., Chiesa, V. & Caughlan, P. (1994), e Lamming (1993). No entanto, apesar de ter sido possível modelar, a partir desta literatura, os conceitos da Produção Enxuta como entendidos atualmente, não foi senão até ser estudada a indústria automotiva japonesa (WOMACK, J.P., JONES, D.T. e ROOS, D., 1992) que o conceito, completo e abrangente, foi totalmente esclarecido.

Para se ter uma idéia do ambiente onde se originou tal conceito deve-se ter em mente que as pesquisas em tecnologias, operações e performance de manufatura realizadas no *MIT* têm por princípio refletir o contexto mais amplo da crescente competição industrial, em um ambiente econômico globalizado. Um objetivo básico nesta instituição é a criação de uma base sistemática de conhecimento, através da aplicação de técnicas de pensamento sistêmico e análise quantitativa, levando a um

entendimento melhorado dos fatores determinantes do crescimento e do declínio industrial. Um exemplo é exatamente a descoberta dos princípios da *Lean Manufacturing* como resultado de uma pesquisa anterior, focalizada na indústria internacional de motores veiculares, a qual tratava-se de um programa de vários anos, envolvendo uma rede de pesquisadores em todo o mundo. Os princípios sistêmicos *Lean*, compreendendo todas as operações industriais e cobrindo a Empresa como um todo, representam um paradigma de produção fundamentalmente novo e dinâmico. A adoção dos princípios *Lean* está efetivamente transformando um número crescente de indústrias, através da alavancagem da inovação tecnológica contínua, da construção de novos relacionamentos organizacionais, da criação de novos arranjos cooperativos e do estabelecimento de novas atribuições e responsabilidades profissionais. A pesquisa em Manufatura no *MIT*, incluindo aquelas sobre sistemas de manufatura através de técnicas baseadas em laboratório, bem como as baseadas em uma amplitude mais larga de estudos em ambientes industriais, não somente indicam a direção para se chegar aos mais avançados processos de manufatura do futuro mas também fornecem um melhor entendimento dos processos de crescimento e mudança industrial.

O paradigma *Lean Manufacturing* foi primeiramente identificado pelos pesquisadores associados ao *MIT International Motor Vehicle Program (IMVP)* como um sistema de manufatura fundamentalmente novo, abrangendo todos os aspectos das operações industriais. A Produção Enxuta tem levado a resultados surpreendentes, em termos de custo e qualidade, na indústria automobilística, como descrito no livro *A Máquina Que Mudou o Mundo* – no original *The Machine That Changed the World* (Womack, Jones e Roos, 1990) – resumizando os resultados das pesquisas executadas pelo *IMVP* durante o período de cinco anos anterior à publicação do livro. O *IMVP*, organizado e dirigido pelo *Center for Technology, Policy and Industrial Development* do *MIT*, é um programa de pesquisa internacional, em

andamento, que envolve os esforços de mais de 50 pesquisadores localizados em diversos países.

Apesar de existirem algumas vozes de descontentamento (GORDON, T., 1995 e BERGGREN, 1992) em relação à adoção e à eficácia da Manufatura Enxuta, é inquestionável a existência de muitos casos concretos que demonstram como as empresas estão mudando os seus métodos de produção e suas práticas de gerenciamento para tornarem-se mais enxutas e mais adaptáveis às circunstâncias. Realmente, a Manufatura Enxuta tem sido expandida de modo a abranger todo o espectro de atividades de um negócio, de tal maneira que as companhias classificadas como de “Classe Mundial”, ou *World-Class Companies* estão buscando tornarem-se “empresas enxutas” (como pode ser visto em LAMMING, R., 1993, em HARRISON, A., 1992 e em JONES, D.T., 1994).

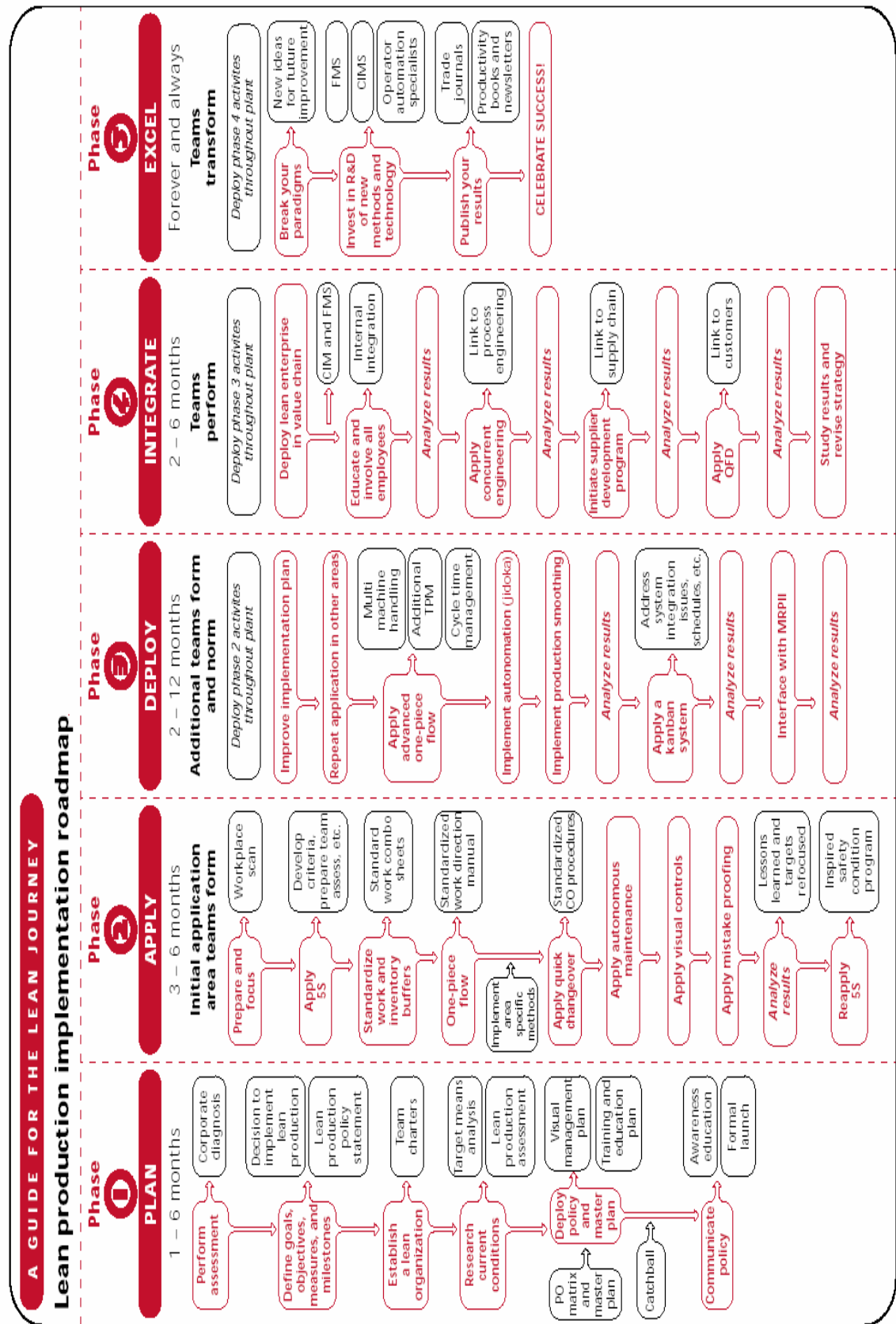
No entanto, nota-se que tanto o trabalho original quanto as publicações subseqüentes têm tido a tendência de restringir seu campo de análise, seu universo de observação, a setores industriais similares, notadamente aqueles de produção em massa ou de alto-volume, como os setores automotivo e eletrônico. Poucos trabalhos publicados (JINA, J., BHATTACHARYA, A.K. & WALTON, A.D., 1995, *McDonnell Douglas – Bigger & Better*, Flight Magazine, February 1995, e LINDGREN, P.C.C., 2001) parecem ter abordado explicitamente a questão sobre a efetiva adequação e aplicabilidade dos métodos *lean* em setores industriais que são notadamente caracterizados por uma produção altamente diferenciada, de volume relativamente baixo e de pouca repetitividade, como da manufatura aeronáutica. Mais especificamente pode-se ainda referir-se a tais produtos como sendo “bens de altíssimo valor”, uma vez que, dentre as principais características que os definem, tem-se “o alto valor agregado ao longo de toda a cadeia de suprimentos e, conseqüentemente, o alto preço de mercado do produto” - sendo esta uma tradução livre do correspondente parágrafo em Gibbons, A. & Nelson, M. *The importance of*

super value goods to Britain's manufacturing sector in the future, um artigo que ainda se encontrava em processo de publicação até a elaboração do presente estudo. Como exemplos de tais produtos podem ser citados os equipamentos e sistemas de geração de energia, os navios, as plataformas de exploração petrolífera, as usinas nucleares e todos os demais produtos similares, principalmente aqueles que mais interessam ao propósito deste estudo, as estruturas e os motores aeronáuticos e aeroespaciais (onde são englobadas as aeronaves, como um todo).

É justamente com o objetivo precípua de auxiliar no preenchimento desta lacuna do saber que este trabalho está sendo elaborado, valendo-se de uma investigação baseada em estudos de caso para coletar dados sobre métodos e práticas atualmente adotados em um setor mundialmente reconhecido como de geração de “bens de altíssimo valor”, o de manufatura aeronáutica, comparando-os e confrontando-os com aqueles tipicamente derivados de um setor de manufatura enxuta de alta cadência, o automotivo. Neste trabalho serão descritas as metodologias desenvolvidas pelas empresas, os resultados obtidos nas diversas companhias pesquisadas e as principais características dos processos bem sucedidos de implementação, que poderão, efetivamente, ser analisados e concentrados em um compêndio que relacione as Melhores Práticas Adotadas Globalmente para a Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) nas Indústrias Aeronáuticas da Atualidade.

Quanto à sistemática de implantação, o modelo desenvolvido com base na experiência automotiva permitiu às empresas envolvidas no processo obterem um certo consenso sobre a metodologia a ser adotada, o que deu origem aos chamados *roadmaps* – termo equivalente a “mapas rodoviários” – que permitem a melhor “visualização do trajeto”, o melhor planejamento de recursos materiais e do efetivo envolvido, além do monitoramento das ações a serem seguidas, como se pode verificar no exemplo ilustrado na Figura 29 a seguir, cabendo à pesquisa também

verificar o grau de adesão das empresas respondentes à sistemática sugerida pelo *Lean Enterprise Institute*.



Fonte: Consultoria Productivity, Inc.

Figura 29 - Mapa para a Implementação da Produção Enxuta.

2.3.2 Principais Conceitos e Definições

À primeira vista pode ser julgado que a Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, se afigura como um sistema antagônico aos princípios de dois outros métodos de produção já classicamente consagrados: a Manufatura Artesanal e a Manufatura em Massa. “Em quase todos os aspectos, veio a contrapor-se aos dois outros métodos clássicos de produção concebidos pelo Homem: a Produção Artesanal e a Produção em Massa” (WOMACK; JONES; ROOS; 1992). No entanto, ao se aprofundar o estudo dos conceitos básicos envolvidos na caracterização do Pensamento Enxuto, ou *Lean Thinking*, conclui-se que a Manufatura Enxuta, na verdade, combina as melhores características da produção artesanal (produtos de alta qualidade, individualizados e customizados) com as da produção em massa (fabricação de produtos de qualidade aceitável, em grandes quantidades, com muito pequena ou nenhuma margem de individualização ou customização, para satisfazer as necessidades de um grande número de consumidores, a preços mais baixos). É exatamente este o motivo pelo qual os Princípios *Lean* têm sido aplicados por todo o mundo, com grande sucesso, na indústria automotiva, e estão sendo empregados crescentemente em muitos outros setores industriais.

Conforme o *Production System Design Laboratory (PSD)* do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, onde trabalhavam os idealizadores dos conceitos básicos da Filosofia *Lean*, a Manufatura Enxuta, ou *Lean Manufacturing*, pode ser definida da seguinte maneira, abrangendo praticamente todas as áreas envolvidas no processo produtivo:

A Manufatura Enxuta visa à eliminação de desperdícios em todas as áreas da produção, inclusive nos relacionamentos com os clientes, no projeto do produto, nas ligações com os fornecedores e na gestão da fábrica. Seu objetivo é incorporar menos esforço humano, menos estoques, menor tempo para desenvolver produtos e menor espaço, para se tornar altamente responsiva à demanda do cliente/consumidor,

enquanto fabricam-se produtos de alta qualidade, da maneira mais eficiente e econômica possível.

Originalmente, de modo mais tradicional e acadêmico, a definição de Manufatura Enxuta, brilhantemente elaborada por Womack *et al*, é que a mesma se trata, na verdade, de um conjunto homogêneo, e dinamicamente interativo, de práticas operacionais e comportamentais que visam obter:

- o fluxo integrado e unitário (*single piece*) de produção, com lotes pequenos e baixíssimo nível de estoque, resultante do *just-in-time*;
- a prevenção de defeitos, e não a retificação das falhas;
- a produção puxada, com demanda suavizada, e não a produção empurrada;
- a organização do trabalho baseada em times, com alta flexibilidade e contando com uma força de trabalho multi-especializada, com pouca mão-de-obra indireta;
- o envolvimento ativo na solução das causas fundamentais (causas-raiz) dos problemas, objetivando-se maximizar o valor agregado;
- a grande integração desde a matéria-prima até o cliente, por meio dos conceitos de parceria.

Sendo que a todos estes conceitos pode-se agregar mais um, derivado do trabalho de Clarke & Fujimoto (1991), de inegável caráter ilustrativo e cunho bastante atualizado em termos de moderna administração industrial:

- a grande redução da carga de trabalho sobre a mão-de-obra indireta (*overhead*), graças ao uso de times compostos matricialmente, simplificando o fluxo e o processamento de informações, além de permitir maior “achatamento” das estruturas hierárquicas organizacionais.

Ao analisar-se a definição do conceito *Lean* apresentada por outro autor, Liker (1997), tem-se que o mesmo considera que *Lean*:

É reduzir o tempo entre o pedido do cliente até a fabricação e a entrega dos produtos, através da eliminação do desperdício que não agrega valor. O ideal de um sistema enxuto é um fluxo de uma só peça. Um fabricante *Lean* está em continua melhoria, rumo àquele ideal.

Características similares, que descrevem as práticas *Lean* de acordo com os estudos inicialmente executados na indústria automotiva por Womack *et al.* (1990), são:

- *Lean* é um processo dinâmico de mudança dirigido por um conjunto sistêmico de princípios e melhores práticas voltadas à melhoria contínua.
- *Lean* se refere à empresa como um todo: do chão-de-fábrica aos mais altos níveis executivos, e à cadeia de valor desde o fornecedor até o cliente.
- *Lean* requer a eliminação de tudo o que não agregue valor.
- A transformação para um estado *lean* é um processo complexo.

Não existe algo único que torne uma organização enxuta. A produção *lean* implica na utilização ótima das habilidades da força de trabalho, atribuindo aos funcionários mais de uma tarefa, integrando o trabalho desenvolvido pelas mãos-de-obra direta e indireta e encorajando atividades de melhoria contínua. Como resultado, a produção *lean* é capaz de fabricar uma grande variedade de produtos, a custos mais baixos e com qualidade maior, com menor quantidade de cada *input*, se comparada com a produção em massa tradicional: menos esforço humano, menos espaço, menos investimento, e menos tempo de desenvolvimento. Para serem competitivas as empresas chegaram à conclusão de que devem ter, principalmente:

- qualidade além (do nível) da competição;
- tecnologia (dominada) antes da competição; e
- custos abaixo (daqueles) da competição (WATSON, 1994).

Em outras palavras, as empresas devem se esforçar para serem melhores, mais rápidas e mais baratas que os seus competidores. Estas são algumas das características do Paradigma *Lean*.

Faz-se necessário chamar atenção para a crescente área de atuação dos conceitos *Lean* em uma empresa. Verdadeiramente, estes atributos representam, de forma abrangente, o que pode ser descrito como os **Princípios das Melhores Práticas** (*Best Practice Principles*) que se espera poder observar em uma tradicional empresa de manufatura enxuta de altos volumes de produção como a automotiva, por exemplo.

Por outro lado, ao adotar-se esta abordagem mais holística, fundamentalmente necessária para se analisar a disseminação da Filosofia Enxuta para as demais áreas das empresas, verifica-se que os principais benefícios da Manufatura Enxuta incluem, mas não se limitando somente a isto, o uso de cada vez menos recursos (otimizando-se o *input*), o trabalho em um ciclo de desenvolvimento e fabricação de produto rápido e eficiente (otimizando-se o *throughput*), obtendo-se uma qualidade cada vez maior a um custo cada vez menor, com uma grande flexibilidade (otimizando-se, desta maneira, o *output*).

Em se tratando de verificar os aspectos positivos da incorporação das práticas de uma Empresa Enxuta, ou *Lean Enterprise*, tem-se que os maiores benefícios em potencial para a indústria aeronáutica podem advir da obtenção de um valor significativamente maior na aquisição de sistemas, tanto novos quanto já existentes, com eficiência aumentada, maior qualidade e tecnologia aprimorada, incluindo um processo de gerenciamento substancialmente mais simplificado e eficiente, ou melhor, **enxuto**.

Os Princípios-Chave da Manufatura Enxuta podem ser praticamente explicados como sendo os seguintes:

- **Qualidade Perfeita na Primeira Vez**, por meio da busca pelo índice de Zero Defeitos, esclarecendo e resolvendo problemas em sua fonte mais primária, obtendo simultaneamente, qualidade mais alta e elevada produtividade, trabalho em equipe e transferência de maior autonomia, responsabilidade e capacidade de decisão para os trabalhadores.

- **Eliminação ou Minimização do Desperdício**, por intermédio da remoção de todas as atividades que não agreguem valor, do uso mais eficiente dos recursos escassos (capital, pessoas e espaço), do fluxo de abastecimento das operações produtivas e logísticas em *just-in-time* (eliminando-se uma grande parte do tempo desperdiçado durante as esperas) e da eliminação dos estoques de segurança, onde quer que isto seja possível, sem trazer riscos elevados ao atendimento das necessidades dos clientes.

- **Melhoria Contínua** (redução de custos, melhoria da qualidade e aumento da produtividade) por meio de um processo dinâmico de mudança, desenvolvimento simultâneo e integrado de produtos e processos, rápidos *cycle time* e *time-to-market*, além do amplo compartilhamento e abertura de informações.

- **Flexibilidade** na produção rápida de diferentes *mixes* ou maior diversidade de produtos, sem sacrificar a eficiência em volumes mais baixos de produção, através de *setup* mais rápido e da fabricação em lotes menores, objetivando atingir o lote ideal de tamanho unitário.

- **Relacionamentos de Longo-Prazo** entre fornecedores e fabricantes primários, montadores e integradores de sistemas, por intermédio de arranjos de divisão colaborativa de riscos, e compartilhamento de custos e de informações.

Resumidamente pode-se dizer que o sentido prático do termo Enxuto, ou *Lean*, trata da disponibilização/obtenção das coisas certas no lugar certo, no momento certo, logo da primeira vez, enquanto se minimiza o desperdício e se mantém uma postura aberta a mudanças, tanto administrativa quanto operacionalmente. Neste conceito

mais resumido, *Lean* pode significar, certamente, **menos** de muitas coisas – menos desperdício, menor tempo de projeto, menos níveis hierárquicos e menor quantidade de fornecedores. Mas *Lean* pode também significar **mais** – mais delegação de poderes para os funcionários, mais flexibilidade e capacidade, maior produtividade, mais satisfação para o cliente e, indubitavelmente, mais sucesso competitivo a longo-prazo. Os Princípios *Lean*, incorporados ao trabalho de hoje, podem significar a sobrevivência do negócio no futuro.

2.3.2.1 Os Conceitos Básicos

Muda é uma palavra japonesa que significa desperdício, e o desperdício é, por sua vez, definido como sendo toda atividade humana que absorve recursos mas não gera valor em contrapartida.

Enquanto o executivo da Toyota, Taiichi Ohno, (1912-1990), o mais feroz crítico do desperdício que a história humana já conheceu, identificou os sete tipos de desperdício, ou *muda*, da produção, Shigeo Shingo trabalhou no sentido de divulgá-los, identificando quais seriam os caminhos mais viáveis para eliminá-los:

1) Desperdício de Superprodução

É o desperdício de se produzir antecipadamente à demanda, para o caso de os produtos serem requisitados no futuro.

A produção antecipada gera problemas e restrições do processo produtivo: tempos longos de preparação de máquinas, grandes distâncias a percorrer com o material, falta de coordenação entre demanda e a produção gerando grandes lotes, como consequência inevitável.

O Sistema de Manufatura Enxuta prega a produção somente do que é necessário.

2) Desperdício de Espera

É o material que está esperando para ser processado, formando filas que visem garantir altas taxas de utilização dos equipamentos.

O Sistema de Manufatura Enxuta enfatiza o fluxo de materiais (coordenado com o fluxo de informações) e não as taxas de utilização dos equipamentos, os quais somente devem trabalhar se houver necessidade.

A Manufatura Enxuta também coloca ênfase no homem e não na máquina. O homem não pode estar ocioso, mas a máquina pode esperar para ser utilizada.

3) Desperdício de Transporte e Movimentação

O transporte de materiais e a movimentação de pessoas são atividades que não agregam valor ao produto e são necessários devido às restrições do processo e das instalações, as quais impõem grandes distâncias a serem percorridas pelo material ao longo do processamento.

O Sistema de Manufatura Enxuta mostra que estas atividades são desperdícios de tempo e recursos que devem ser eliminados pela redução dos estoques a praticamente zero e por um arranjo físico adequado que minimize as distâncias a serem percorridas, tanto por pessoas quanto por materiais.

4) Desperdício de Processamento

É o desperdício inerente a um processo não otimizado, ou seja, a existência de etapas ou funções do processo que não agregam valor ao produto.

A Manufatura Enxuta questiona e investiga qualquer elemento que adicione custo e não valor ao produto, devendo-se responder claramente a perguntas como:

- Por que determinado componente deve ser fabricado?
- Qual a sua função no produto?
- Por que esta etapa do processo é necessária?

5) Desperdício de Movimento

São os desperdícios presentes nas mais variadas operações do processo produtivo.

O Sistema de Manufatura Enxuta procura a economia e consistência nos movimentos através do estudo de métodos e tempos do trabalho, se apoiando em soluções simples e de baixo custo. É preciso, em primeiro lugar, aprimorarem-se os movimentos para, somente então, mecanizar e automatizar pois, caso contrário, corre-se o risco de automatizar o desperdício.

6) Desperdício de Produzir Itens/Produtos Defeituosos

São os desperdícios gerados pelos problemas da qualidade. Produtos defeituosos implicam em desperdício de materiais, mão-de-obra, uso de equipamentos, além da movimentação e armazenagem de materiais defeituosos.

O Sistema de Manufatura Enxuta aperfeiçoa o processo produtivo de maneira tal que previna a ocorrência de defeitos, para que se possa eliminar as operações de inspeção.

A Manufatura Enxuta procura sempre otimizar os processos já estabilizados, reduzindo continuamente a possibilidade da geração de defeitos.

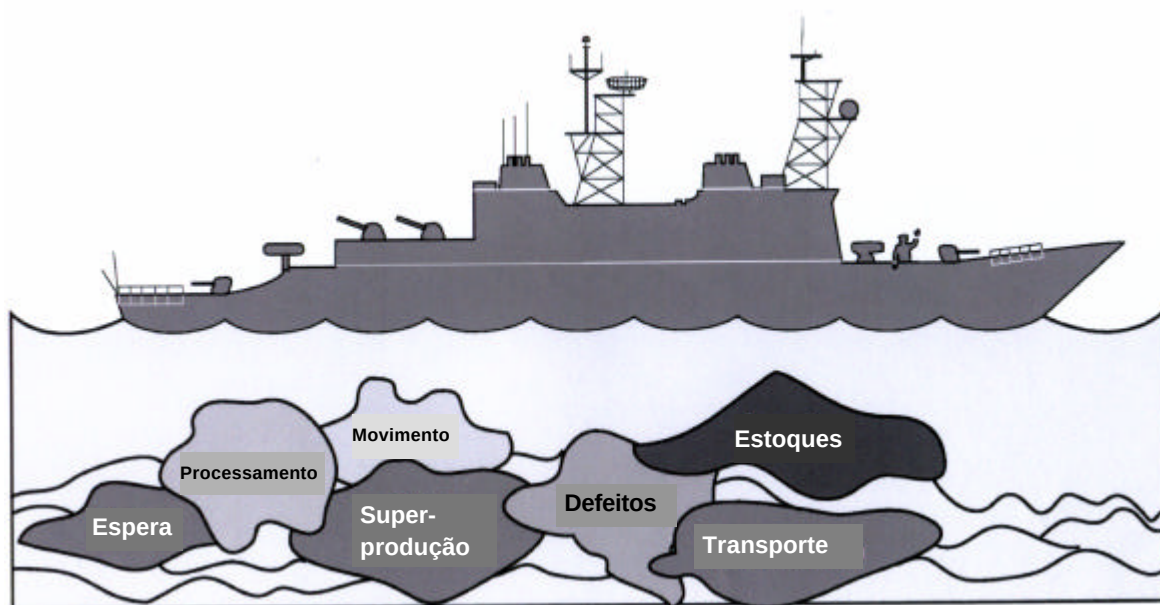
7) Desperdícios de Estoques

No sistema de produção tradicional os estoques têm sido utilizados para evitar discontinuidades do processo produtivo, frente aos problemas de produção. Além da ocupação desnecessária de valioso espaço físico (que poderia estar sendo utilizado como espaço realmente “produtivo”) e do volume de recursos (humanos e burocráticos) mobilizados para seu controle e sua manutenção, o estoque ainda contribui para:

- Ocultar problemas da qualidade, pois o estoque gera independência entre os estágios do processo produtivo, rompendo o fluxo do processo como um todo.

- Ocultar os problemas de quebra de máquina, permitindo a manutenção do fluxo contínuo de produção, mesmo com quebra de máquina, o que estimula grandemente a atitude de postergação da correção dos problemas e a degradação da própria manutenção, bem como de seus resultados.

- Aumentar os problemas de preparação de máquina (*setup*), uma vez que os lotes grandes compensam e trazem embutidos em seus custos tanto a ineficiência quanto os altos custos de preparação das máquinas.



Fonte: Adaptada do LEI – Lean Enterprise Institute

Figura 30 - Representação Gráfica dos Sete Desperdícios Originais

2.3.2.2 O Pensamento Enxuto e Seus Princípios

O “pensamento enxuto” é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor seqüência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o

pensamento enxuto é “enxuto” porque, simplesmente, se constitui na forma de se fazer cada vez mais, com cada vez menos recursos.

Basicamente o Pensamento Enxuto, como figura holística, pode ser melhor entendido se analisado em seus Princípios Elementares, como se faz a seguir.

Princípios do Pensamento Enxuto

- 1- Valor
- 2- A Cadeia de Valor
- 3- Fluxo
- 4- Produção Puxada
- 5- Perfeição

1 Valor

O ponto de partida essencial para o pensamento enxuto é o valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final, apesar de ser criado pelo produtor. Do ponto de vista do cliente, é para isso que os produtores existem.

O pensamento enxuto deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos específicos, com capacidades específicas, oferecidas a preços específicos, através do diálogo com clientes específicos. Para se fazer isso, é preciso ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos com equipes de desenvolvimento de produtos e processos fortes e dedicadas.

2 A Cadeia de Valor

É o conjunto de todas as ações específicas, necessárias para se levar um produto específico (seja ele um bem, um serviço, ou, cada vez mais, uma combinação dos dois) a passar pelas três tarefas gerenciais mais críticas em qualquer negócio:

- a tarefa de solução de problemas, que vai da concepção até o lançamento do produto, passando pelo projeto detalhado e pela engenharia.
- a tarefa de gerenciamento da informação que vai do recebimento do pedido até a entrega, seguindo um detalhado cronograma.
- a tarefa de transformação física, que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

3 Fluxo

Nascemos em um mundo mental de “funções” e “departamentos”, o que nos leva à convicção comum de que as atividades devem ser agrupadas pelo tipo, para que possam ser realizadas de forma mais eficiente e gerenciadas com mais facilidade.

Além disso, para que tarefas sejam executadas eficientemente dentro dos departamentos, o bom senso diz que se deve realizar as tarefas semelhantes em lotes.

Um exemplo clássico deste pensamento é o caso dos agricultores, à medida que ficaram obcecados pelos lotes (a colheita anual) e estoques (a armazenagem de grãos).

Os primeiros a perceber o potencial do fluxo foram Henry Ford e seus sócios, em 1913. Ford reduziu em 90% a quantidade de esforço necessário para montar o modelo T da Ford, adotando o fluxo contínuo na montagem. Mas ele só descobriu o caso especial, pois seu método funcionava quando os volumes de produção eram suficientemente altos para justificar as linhas de montagem de alta velocidade. No caso geral, o verdadeiro desafio é criar o fluxo contínuo na produção de pequenos lotes, de dezenas ou centenas de cópias de um produto, e não de milhões.

A Toyota obteve o fluxo contínuo na produção em baixo volume, na maioria dos casos sem linhas de montagem, aprendendo a trocar rapidamente de ferramentas quando da troca da fabricação/montagem de um produto para o próximo e

dimensionando corretamente a capacidade, o formato e a disposição das máquinas, para que as etapas de processamento de diferentes tipos (por exemplo: molde, pintura e montagem) pudessem ser realizadas imediatamente umas após as outras, enquanto o objeto em produção era mantido em um fluxo contínuo.

Em suma, os resultados são melhores quando se focaliza o produto e suas necessidades, e não a organização ou o equipamento, de modo que todas as atividades necessárias para se projetar, pedir e fornecer um produto ocorram em um fluxo contínuo.

4 Produção Puxada

O primeiro efeito visível da conversão de departamentos e lotes em equipes de produção e fluxo é que o tempo necessário para passar da concepção ao lançamento, da venda à entrega, da matéria-prima ao cliente, cai drasticamente, como podemos testemunhar em Womack e Jones (1996, p.213) avaliando o exemplo da Porsche com a redução do tempo da concepção ao lançamento de um novo modelo de 7 anos (em 1991) para 3 anos (em 1997).

Na verdade, com a aplicação motivada e consciente dos Conceitos e Métodos da Manufatura Enxuta, a expectativa é reduzir rapidamente o tempo de permanência na produção (*throughput*) à metade no desenvolvimento de produtos, em 75% no processamento de pedidos e em 90% na produção física.

Os sistemas enxutos podem gerar qualquer produto atualmente em fabricação, em qualquer combinação, de modo a acomodar imediatamente as mudanças na demanda.

Isso produz um fluxo de caixa extra, decorrente da redução dos estoques, e acelera o retorno sobre o investimento. Na verdade, é porque a capacidade de projetar, programar e fabricar exatamente o que e quando o cliente quer, significa que se pode prescindir da projeção de vendas e simplesmente fazer o que os clientes

necessitam, ou seja, pode-se deixar que o cliente puxe o produto, quando necessário, em vez de empurrar o produto, muitas vezes indesejado, para o cliente.

5 Perfeição

A medida em que as organizações começarem a especificar com precisão o valor, a identificarem a cadeia de valor como um todo, à medida em que fizerem com que os passos para criação de valor referentes fluam continuamente, e deixem que os clientes puxem o valor da empresa, algo muito estranho começará a acontecer. Ocorre aos envolvidos que o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custo e erros é contínuo e incessante, sendo que, ao mesmo tempo, se passa a oferecer um produto que se aproxima ainda mais daquilo que o cliente realmente quer. De repente, a perfeição, o quinto e último conceito do pensamento enxuto, não parece uma idéia tão distante.

Por que? Porque os quatro princípios iniciais interagem entre si em um círculo poderoso. Fazer com que o valor flua mais rápido sempre expõe “muda” oculto na cadeia de valor. E quanto mais você puxar, mais revelará os obstáculos ao fluxo, permitindo a eliminação dos mesmos.

Para a melhor compreensão do detalhamento e da abrangência da implementação do pensamento enxuto, recomenda-se fortemente o estudo da representação esquemática dos Princípios, das Métricas a nível Empresarial e das 12 Práticas Abrangentes ilustradas na Figura 40 - *The Lean Enterprise Model* (Modelo para Empresa Enxuta) Versão 2.0 Brasil, traduzida e adaptada pelo autor, mostrada ao final do subcapítulo 2.4.3.3 Representação Gráfica do LEM.

2.3.3 Mapeamento do Fluxo de Valor

Depois de conhecidos os fatos históricos e abordados os conceitos básicos, cuja compreensão é essencial para se visualizar toda a abrangência do “pensamento

enxuto” que orienta a Manufatura Enxuta, faz-se necessário estabelecer um alicerce, uma base, cuja função estratégica é a de estruturar toda a implementação – o Mapeamento do Fluxo de Valor.

2.3.3.1 O Fluxo do Valor

Trata-se de toda a ação (agregando valor ou não) atualmente necessária para cada produto, podendo considerar:

- (1) o fluxo da produção, desde a matéria prima até o consumidor
- (2) o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento



Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.3)

Figura 31 - O Fluxo do Valor

O mapeamento do fluxo do valor é uma ferramenta que utiliza papel e lápis, ajudando a empresa a enxergar e entender o fluxo do material e da informação à medida que o produto segue o fluxo do valor (ROTHER; SHOOK; 1998, p.4).

O Mapeamento do Fluxo do Valor é uma Ferramenta essencial porque:

- Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais, por exemplo: montagem, solda, etc. Pode-se enxergar o fluxo.
- Ajuda a identificar mais do que os desperdícios. Mapear ajuda a identificar as fontes de desperdício no fluxo do valor.
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura.

- Torna as decisões sobre o fluxo aparentes, de modo que se pode discutí-las. De outro modo, muitos detalhes e decisões no seu chão de fábrica só acontecem por omissão.

- Agrega conceitos e técnicas enxutas, evitando a implementação de algumas técnicas de impacto isolado.

- Forma a base de um plano de implementação. Ao ajudá-lo a desenhar o fluxo de porta a porta que deveria operar - uma parte que falta em muitos esforços enxutos - os mapas do fluxo de valor tornam-se referência para a implementação enxuta. Imagine o leitor tentar construir uma casa sem uma planta!

- Mostra a ligação entre o fluxo da informação e o fluxo do material. Nenhuma outra ferramenta faz isso.

- É muito mais útil que uma ferramenta quantitativa e diagramas de *layout* que produzem um conjunto de passos que não agregam valor, *lead time*, distância percorrida, a quantidade de estoque, e assim por diante. O mapa do fluxo do valor é uma ferramenta qualitativa com a qual descreve-se em detalhes como a sua unidade produtiva deveria operar para criar o fluxo. Números são necessários para criar um senso de urgência ou como medidas e comparações antes/depois da implementação. O mapeamento do fluxo de valor é útil para descrever o que se está realmente fazendo para chegar a esses números.

2.3.3.2 Fluxos do Material e da Informação

Dentro do fluxo da produção, o movimento do material dentro da fábrica é o fluxo que comumente é lembrado em primeiro lugar. Mas há outro fluxo - o da informação - que diz para cada processo o que fabricar ou fazer em seguida. Os fluxos do material e da informação são dois lados de uma mesma moeda, como pode ser visto na Figura 32 a seguir. Devem-se mapear ambos.



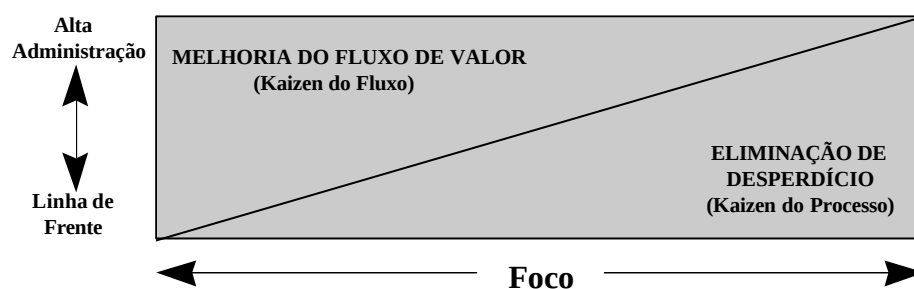
Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.5)

Figura 32 – Fluxos do Material e da Informação

2.3.3.3 O Gerente do Fluxo do Valor

Desenhar o fluxo do valor para uma família de produtos certamente exigirá a transposição dos limites organizacionais da companhia. Isso porque as empresas tendem a ser organizadas por departamentos e funções, ao invés do fluxo das etapas agregadoras de valor para as famílias de produtos, e geralmente não se encontra um responsável pela perspectiva do fluxo do valor. (Não é surpresa preocupar-se tanto com o *Kaizen* no nível do processo!). Partes do fluxo não estarão assistidas - significando que áreas de processos individuais operarão de modo ótimo somente sob suas óticas, não sendo considerada a perspectiva do fluxo do valor.

Muitas pessoas estão envolvidas na implementação enxuta e todas elas precisam entender o mapeamento do fluxo do valor para estarem aptas a enxergar o mapa do estado futuro. Mas o mapeamento e a equipe de implementação do estado futuro precisam ser liderados por alguém que possa enxergar através das fronteiras dos fluxos do valor de um produto. A melhoria do fluxo do valor - “*Kaizen* de Fluxo” - é a gerência da empresa implementando *kaizen*. A Figura 33, a seguir, apresenta uma boa visão sobre a relação entre *kaizen* do fluxo e *kaizen* do processo.



Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.6)

Figura 33 - Gerenciando o Fluxo do Valor

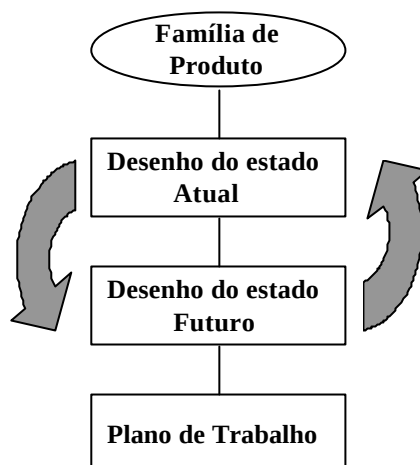
Não se deve cometer o erro de dividir a tarefa de mapeamento entre os gerentes das áreas e então esperar alinhar seus segmentos individuais. Deste modo, não se deve mapear a empresa, mas sim o fluxo dos produtos dentro da empresa.

Tanto o *Kaizen* do Fluxo como o do Processo são necessários na empresa; melhorar um é melhorar o outro também. O *Kaizen* do Fluxo concentra-se no fluxo dos materiais e da informação (os quais requerem ser vistos do alto) e o *Kaizen* do Processo focaliza o fluxo das pessoas e dos processos.

2.3.3.4 Usando a Ferramenta Mapeamento

Mapear o fluxo do valor pode ser uma ferramenta informal de comunicação, uma ferramenta de planejamento de negócios e uma ferramenta para gerenciar o processo de mudança.

O mapeamento do fluxo do valor segue as etapas mostradas na Figura 34, localizada na página a seguir. Note-se que o desenho do estado futuro já está incluso, porque a meta é projetar e introduzir um fluxo enxuto do valor. Uma situação atual, sem um estado futuro, não é de muita utilidade.



Fonte: Adaptada de Rother e Shook (1998, p.7)

Figura 34: Estratégia de Mapeamento

O primeiro passo é desenhar o estado atual, que é feito a partir de uma coleta de informações no chão de fábrica. Note-se que as setas entre o estado atual e o futuro vão em ambos os sentidos, indicando que o desenvolvimento do estado atual e futuro são esforços superpostos. As idéias sobre o estado futuro virão à tona enquanto se estiver mapeando o estado atual. Do mesmo modo, desenhar-se o estado futuro com frequência mostrará importantes informações sobre o estado atual que ainda não se havia percebido.

O passo final é preparar e começar a usar ativamente um plano de implantação que descreva, resumidamente, como se planeja a transição do estado atual para o estado futuro. Então, assim que o estado futuro tornar-se realidade, o processo de mapeamento se repete... porque sempre se precisa de um estado futuro. Isto nada mais é que a melhoria contínua no nível do fluxo do valor.

2.3.3.5 Desenhando o Mapa do Estado Atual

Uma vez escolhida a família de produtos (através de critérios como, por exemplo, a participação na Curva ABC, a criticidade dos *lead times* e a facilidade para

implantação do *layout* em células e avaliação dos resultados) deve-se coletar as informações do estado atual caminhando-se diretamente ao lado dos fluxos reais de material e informação. O mapeamento começa pelas demandas do cliente da sua família de produtos em questão, pois a área crítica para se começar qualquer esforço de melhoria é esclarecer as definições de valor de um produto a partir da ótica do consumidor. Caso contrário, corre-se o risco de melhorar um fluxo de valor que fornece eficientemente ao cliente final algo que não é realmente o desejado por ele.

Como primeira etapa, deve-se mapear o fluxo do material do produto registrando cada etapa do processo e suas paradas (seja por aguardar sua vez para o processamento posterior, seja por necessidade de espera para cura, transporte, inspeção, etc). Os dados típicos de processo que devem ser registrados no mapeamento são: tempo de ciclo, tempo de troca de ferramentas, tamanhos dos lotes de produção, número de variações de um produto, número de operadores, tamanho de embalagem, tempo de trabalho (menos os descansos), taxa de refugo e o tempo de operação real da máquina.

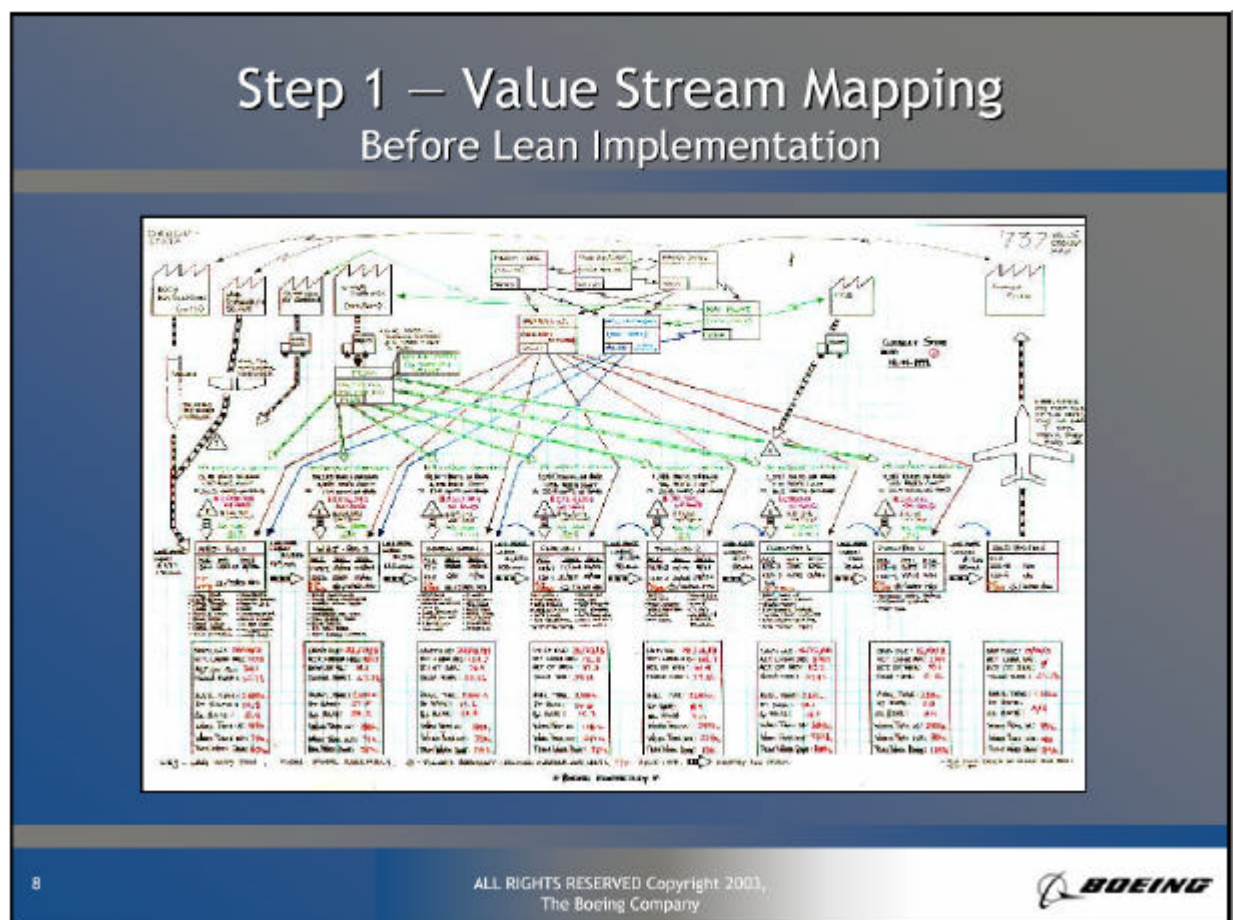
Na segunda etapa, adiciona-se o fluxo da informação, ou seja, mapeia-se como e com que frequência o chão de fábrica recebe informações do que, quanto e quando deve fabricar. Deve-se incorporar nesse mapa os fluxos das informações formais (ex. MRP) e das informais (controles manuais, ajustes, etc.).

A obra de Rother e Shook (1998, Appendix A) apresenta uma série de símbolos, ou “ícones”, que são normalmente utilizados para representar os processos e os fluxos. Pode-se desenvolver ícones próprios, adicionais, sendo a única sugestão dada a que sejam mantidos consistentes dentro da empresa, de modo que todos os envolvidos saibam como desenhar e entender os mapas que são necessários para instituir a Produção Enxuta.

Uma vez desenhados os dois fluxos juntos, pode-se ver como um mapa do fluxo do valor difere de uma tradicional ferramenta visual usada em análises de

operações - o *layout* das instalações, por exemplo. A partir da perspectiva do fluxo do valor do produto e do cliente, o mapa do fluxo do valor elimina a confusão e multiplicidade de eventos que fazem parte do *layout* da planta, como pode ser visto na Figura 35 abaixo.

Outra análise interessante é adicionar somente os tempos de agregação de valor para cada processo no fluxo do valor, e compará-lo com o *lead time* total: o resultado deverá causar um grande choque!



Fonte: The Boeing Company, 2003

Figura 35 - Exemplo do Mapa do Estado Atual da Antiga Linha do Boeing 737

2.3.3.6 O Que Torna Enxuto um Fluxo de Valor

Para reduzir um longo *lead time*, desde a matéria-prima até o produto acabado, tem-se que fazer mais do que simplesmente tentar eliminar o desperdício. Muitos esforços de implementação enxuta buscam a eliminação dos “sete desperdícios”.

Embora seja bom estar atento ao desperdício, o projeto do estado futuro precisa eliminar as fontes ou “as causas básicas” do desperdício no fluxo do valor. A mais importante fonte de desperdício é o excesso de produção, que significa produzir mais, produzir antes, ou produzir mais rápido do que é requerido pelo processo seguinte. O excesso de produção causa todo o tipo de desperdício, não somente excesso de estoque e o correspondente valor em dinheiro alocado naquele estoque. Lotes de peças devem ser estocados, demandando espaço no galpão; manuseados, demandando pessoas e equipamentos; classificados e retrabalhados. O excesso de produção resulta em faltas, porque os processos estão ocupados fazendo as coisas erradas. Isto significa que se precisa de operadores e capacidade de equipamentos extras, porque se está usando parte dos seus trabalhadores e equipamentos para produzir peças que ainda não são necessárias. Isto também faz crescer o *lead time*, o que prejudica sua flexibilidade em responder às necessidades do cliente.

2.3.3.7 Características de um Fluxo Enxuto do Valor

O que se tenta realmente fazer na produção enxuta é construir um processo para produzir somente o que o próximo processo necessita e quando necessita. Tenta-se ligar todos os processos - desde a matéria-prima até o consumidor final - em um fluxo regular, sem retornos, que gere o menor *lead time*, a mais alta qualidade e o custo mais baixo. Para isso sugerem-se alguns passos:

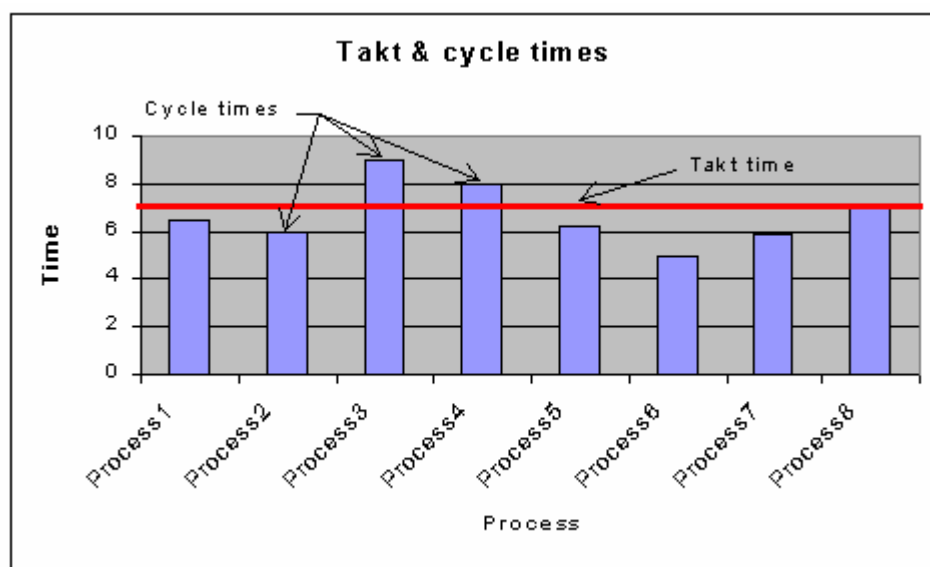
1) Conhecer-se o *Takt Time*

O *Takt Time* é o tempo em que se deve produzir uma peça ou produto, baseado na taxa de vendas, para atender a demanda dos clientes. O *Takt Time* é usado para sincronizar o ritmo de produção com o ritmo da demanda. Ele é um número de referência que dá a noção do ritmo em que cada processo precisa estar

produzindo e ajuda a enxergar os aspectos operacionais e o que se precisa fazer para melhorá-los, como pode ser visto na Figura 36 a seguir.

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{tempo de trabalho disponível}}{\text{taxa da demanda do cliente}}$$

Exemplo: Com 480 minutos disponíveis em um dia típico, e demandando-se 32 unidades do produto por dia, tem-se $480 / 32 = 15$ minutos (*Takt Time*), ou seja, uma unidade a cada 15 minutos.



Fonte: Lean Enterprise Institute – Lean Manufacturing Conference, Abril 2001

Figura 36 - Takt & cycle times

O *Takt Time* também é utilizado para se determinar a quantidade ideal de operadores, que é resultante do Total da Soma do *cycle time* por operador (conteúdo de trabalho) dividido pelo *Takt Time*.

Exemplo: Com 350 minutos de *cycle time* por operador e um *Takt Time* de 15 minutos, tem-se $350 / 15 = 23,3$ (arredondado para 24), ou seja, são necessários 24 operadores para se atender à demanda.

Deve se assegurar que cada um dos 24 operadores tenha um tempo válido de atribuição de tarefas o mais próximo possível de 15 minutos, assumindo que os

membros do time possam dividir as tarefas igualmente em termos de desempenho, sendo, portanto, multiquificados.

2) Desenvolver um Fluxo Contínuo onde for possível

O Fluxo Contínuo refere-se a produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte sem nenhuma parada entre eles. O Fluxo Contínuo é o mais eficiente modo de produzir e deve-se usar muita criatividade ao tentar implementá-lo.

Às vezes pode-se querer limitar a extensão de um Fluxo Contínuo puro porque todos os processos conectados a ele também apresentam como unificados todos os seus *lead times*, bem como os seus tempos mortos (tempos sem efetiva agregação de valor ao produto).

3) Tentar enviar a Programação do Consumidor somente a um processo de produção

Este ponto é chamado de Processo Puxador (definidor do ritmo), porque a maneira que se controla a produção neste processo define o ritmo para todos os processos anteriores. A seleção desse ponto de programação também determina quais elementos do fluxo do valor tornam-se partes do *lead time*, do pedido do cliente até o produto acabado. Note que a transferência de materiais do processo puxador até os produtos acabados deve ocorrer como um fluxo, por causa disto, o processo puxador é freqüentemente o último processo em um fluxo contínuo.

4) Controlar, com supermercados, a produção em todos os processos anteriores ao puxador

Nos processos anteriores ao Processo Puxador há partes do fluxo do valor onde não é possível estabelecer o fluxo contínuo. Pode haver muitas razões para isto, incluindo:

- Alguns processos que operam em ciclos de tempo mais rápidos e mudam com o tempo para atender a múltiplos fluxos de valor.
- Alguns processos, tais como aqueles localizados nos fornecedores, estão distantes e o transporte de uma peça de cada vez não é uma alternativa realista e economicamente viável.
- Alguns processos têm *lead time* muito elevado ou não são confiáveis o bastante para ligarem-se diretamente ao processo puxador.

Deve resistir-se à tentação de programar estes processos independentemente através do departamento de controle de produção. Ao invés disto, o controle da produção deles é feito por meio da ligação aos clientes posteriores, mais freqüentemente através de um sistema puxado baseado em supermercado (estoque de segurança com os variados tipos de peças produzidas nesse processo). Em resumo, precisa-se instalar um sistema puxado onde o fluxo contínuo seja interrompido e o processo anterior ainda deve operar com base em lotes.

O objetivo de se colocar um sistema puxado entre dois processos é ter-se uma maneira de dar a instrução de produção exata ao processo anterior, sem tentar prever a demanda posterior e programar o processo anterior. Puxar é um método para controlar a produção entre dois fluxos. Deve-se liberar esses elementos do MRP, que procura programar as diferentes áreas da planta, deixando-se que as retiradas do processo posterior do supermercado determinem quando e quanto o processo anterior vai produzir.

5) Distribuir o *mix* de fabricação de produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador

É mais fácil programar longas corridas de um tipo de produto e evitar as mudanças (de ferramentas de usinagem, de moldes, de tintas na pintura, etc), mas isto cria problemas anteriores devido ao “efeito corda” (o efeito causado quando se

movimenta para cima a extremidade inferior de uma corda pendurada verticalmente). Isto é, a variabilidade na programação da montagem final amplifica-se tanto quanto mais recuamos nos processos. Quanto mais variabilidade houver no último processo do fluxo do valor, maior o estoque em trânsito que cada processo anterior precisa manter.

Nivelar o *mix* significa distribuir uniformemente a fabricação de diferentes produtos durante um período de tempo - a cada semana, dia, turno, ou até mesmo a cada hora. Se o *mix* de produção for nivelado no processo puxador, o supermercado anterior a ele pode ser muito menor, o que reduz ainda mais o *lead time* total.

6) Liberar e retirar somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho no processo puxador

Muitas empresas liberam grandes lotes de trabalho para os seus processos no chão de fábrica, o que causa vários problemas:

- O volume de trabalho desempenhado normalmente ocorre de forma irregular no decorrer do tempo, com picos e depressões que causam sobrecarga extra nas máquinas, pessoas e supermercados;
- A situação tornar-se difícil de monitorar (“nós estamos atrasados ou adiantados?”);
- Com uma grande quantidade de trabalho liberado para o chão de fábrica, cada processo no fluxo do valor pode alterar a seqüência dos pedidos. Isto aumenta o lead time e a necessidade se de acelerar.

Estabelecer um ritmo de produção consistente ou nivelado permite se ter um fluxo previsível que, por sua natureza, alerte sobre os problemas de tal modo que se possam tomar ações corretivas rapidamente.

Uma ferramenta usada em algumas empresas para ajudar a nivelar o *mix* e o volume de produção é uma caixa de nivelamento de carga com cartões *kanban* para

cada tipo de produto. Neste sistema, o *kanban* indica não só a quantidade a ser produzida, mas também quanto tempo se leva para produzir esta quantidade. O processo fornecedor então deve puxar e produzir para esse *kanban*.

7) Desenvolver a habilidade de fazer “toda parte, todo dia” nos processos anteriores ao processo puxador

Através da redução dos tempos de troca de ferramentas e da produção de lotes menores nos processos anteriores, esses processos serão capazes de responder mais rapidamente às mudanças posteriores eventualmente necessárias. Por sua vez, eles requererão ainda menos estoque nos supermercados. Isto se aplica tanto para a manufatura de partes discretas como para as indústrias de processamento em larga escala.

2.3.3.8 O Mapa do Estado Futuro

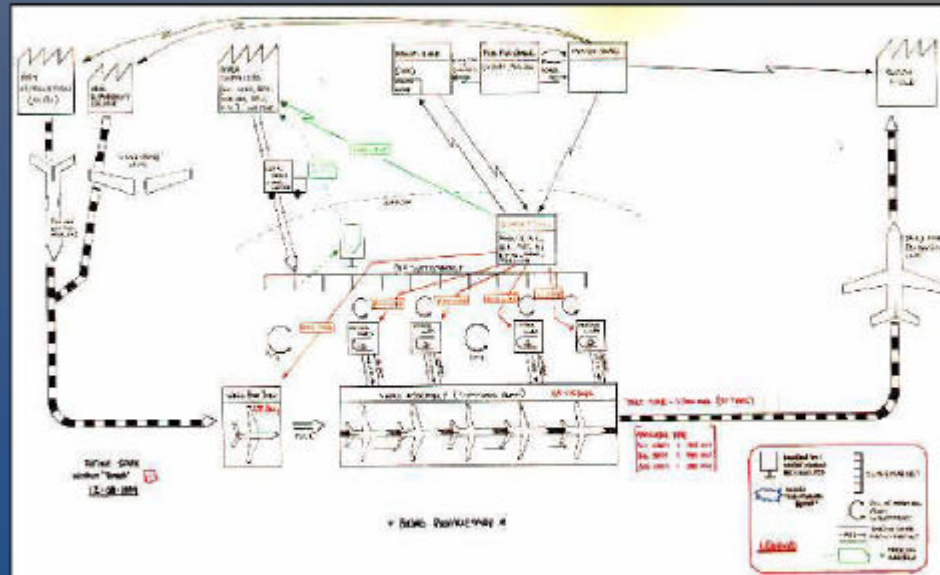
O objetivo de mapear o fluxo do valor é destacar as fontes de desperdício e eliminá-las, através da implementação de um fluxo do valor de um “estado futuro”, que pode tornar-se uma realidade em um curto período de tempo.

Obviamente, parte do desperdício em um fluxo do valor será o resultado do projeto do produto, das máquinas e equipamentos já comprados e da distância que separa algumas atividades. Essas características do estado atual provavelmente não podem ser mudadas de imediato. A primeira interação do mapa do “estado futuro” deverá considerar como características já atribuídas o projeto do produto, as tecnologias de processo e a localização e estrutura da planta, procurando remover o mais rapidamente possível todas as fontes de desperdício que não sejam causadas por essas características.

O apoio mais útil para ajudar as pessoas a desenhar os mapas do estado futuro, cujo exemplo pode ser visto na Figura 37 a seguir, é a seguinte lista de questões:

- 1) Qual é o *takt time* ?
- 2) Onde se pode usar o fluxo do processo contínuo ?
- 3) Qual será o processo de produção puxador ?
- 4) Onde deverão ser introduzidos supermercados nos sistemas puxados a fim de controlar a produção dos processos anteriores ?
- 5) Será fabricado para um supermercado de produtos acabados dos quais o cliente puxa ou diretamente atendendo o pedido do cliente ?
- 6) Como será nivelado o *mix* de produção no processo puxador ?
- 7) Quais volumes de trabalho se libera e retira uniformemente do processo puxador ?
- 8) Quais melhorias de processo serão necessárias para fazer fluir o fluxo do valor conforme as especificações do projeto do estado futuro?

Step 1 – Value Stream Mapping After Lean Implementation



9

ALL RIGHTS RESERVED Copyright 2003,
The Boeing Company



Fonte: The Boeing Company, 2003

Figura 37 - Exemplo do Mapa do Estado Futuro para a Nova Linha do Boeing 737

2.3.3.9 Atingindo o Estado Futuro

O plano para se implementar o fluxo do valor da situação futura pode ser um documento compacto, que inclua os seguintes itens:

- Mapa do estado atual;
- Mapa do estado futuro;
- Qualquer mapa detalhado do processo ou *layouts* que sejam necessários;
- Um mapa anual do fluxo do valor.

Justamente porque o mapa do fluxo do valor visualiza o fluxo completo nas instalações, ao contrário de somente focalizar as áreas de processos individuais, na maioria dos casos não é possível implementar de uma só vez o conceito/panorama

completo do estado futuro. Talvez o ponto mais importante do plano de implementação do estado futuro não seja pensar nele como a introdução de uma série de técnicas, mas encará-lo como um processo de construção de uma série de fluxos conectados para uma família de produtos. Sendo assim, sugere-se dividir o mapa em segmentos ou *loops*:

- *Loop Puxador*: inclui o fluxo de material e de informação entre o cliente e o seu processo puxador. Este é o *loop* mais próximo do final, e a maneira como se administra esse *loop* impacta a todos os processos anteriores naquele fluxo do valor.
- *Loops Adicionais*: antes do *loop* puxador existem os *loops* do fluxo de material e do fluxo da informação entre as puxadas. Isto é, cada supermercado do sistema puxado no seu fluxo do valor normalmente corresponde ao final de outro *loop*.

Esses *loops* são uma excelente maneira de dividir os esforços de implementação do estado futuro em partes menores, mais facilmente administráveis.

Feito isso, deve-se traçar o Plano do Fluxo do Valor, que mostrará:

- O que e quando se planeja fazer, etapa por etapa;
- As Metas quantificáveis;
- Os Pontos de Verificação, com os prazos reais e os responsáveis.

Para escolher um ponto para iniciar a seqüência de implantação, pode-se analisar os *loops*:

- Onde o processo está bem entendido pelo pessoal;
- Onde a probabilidade de sucesso é alta (para construir *momentum*);
- Onde se pode prever um grande impacto financeiro (mas se tendo cuidado, pois isto pode conduzir, algumas vezes, para áreas que têm muitos problemas importantes para serem resolvidos, o que pode conflitar com os critérios anteriores).

2.3.3.10 Responsabilidade da Administração

Como já citado anteriormente, a melhoria do fluxo do valor é primordialmente uma responsabilidade da administração. O administrador tem que entender que o seu papel é enxergar o fluxo total e desenvolver uma visão de um fluxo enxuto, melhorado para o futuro, conduzindo a sua implementação. Não se pode delegar isso, sendo primordial a presença dos seguintes elementos:

- Trabalhar constantemente para eliminar a superprodução. Ao se eliminar a superprodução, ter-se-á um excelente fluxo.
- Ter uma firme convicção de que os princípios enxutos podem ser adaptados para funcionar no ambiente da empresa, junto com uma disposição para tentar, falhar e aprender com os erros.
- Reforçar que a administração precisa dedicar tempo e realmente aprender este assunto por si própria - aprender a ponto de poder ensinar. E então os administradores precisam realmente ensinar, não basicamente em sala de aula (embora isto também seja importante), mas em suas interações diárias com as suas equipes.

2.3.4 A Implementação da Empresa Enxuta (*Lean Enterprise*)

Independentemente de se tratar de um negócio ou de uma indústria, a melhor abordagem a ser seguida para se implementar uma Empresa Enxuta segue algumas poucas regras básicas. A primeira vez que se visita uma organização ou uma área, deve-se observar e analisar o local de trabalho, buscando identificar e ressaltar o fluxo do valor. Isto é feito na seguinte seqüência:

1. Primeiramente identifica-se o fluxo do trabalho. O mapeamento do fluxo do valor revela várias oportunidades para aprimoramento. Durante o mapeamento o foco está em se trazer os problemas à tona, e não em escondê-los. Somente assim é que

se evidenciam as oportunidades de melhoria. O mapeamento inicial também se constitui em uma referência contra a qual serão avaliados os aprimoramentos introduzidos nos processos.

2. Depois disso, deve-se identificar as funções críticas e os postos chaves. Quais participantes do fluxo do trabalho estão servindo diretamente o cliente ou estão diretamente adicionando valor aos bens e serviços para o cliente? Quais, dentre todos os participantes altamente qualificados e que adicionam valor, afetam diretamente a capacidade da organização/área de servir ao cliente?

3. Os recursos principais são os equipamentos, o maquinário, o *layout* da área de trabalho, os materiais, os suprimentos e os procedimentos de trabalho. Deve-se tentar identificar quais recursos são indispensáveis para o fluxo do valor. Quais destes recursos principais adicionam valor diretamente para o cliente ou para os produtos e serviços dos clientes? Quais destes recursos principais podem criar atrasos ou “gargalos” que limitem a capacidade de se servir ao cliente?

4. Isto feito, os melhores métodos dos processos de trabalho terão sido identificados e as tarefas repetitivas estarão padronizadas. A opinião daqueles mais envolvidos nas tarefas deve receber a maior prioridade na determinação das melhores práticas, sendo esta prioridade dada àquilo que efetivamente adicione valor. O foco está em simplificar e detalhar o fluxo de valor. Os recursos críticos e aqueles que desempenham funções ou papéis-chaves deverão estar sempre ocupados, alimentando a movimentação do fluxo do valor. O objetivo está em se obter um fluxo limpo do trabalho, que flua fácil e suavemente.

5. Então trata-se de eliminar o desperdício. São feitas mudanças para se reduzir os custos no fluxo do valor. São reduzidos o desperdício, a sucata e o retrabalho. Os materiais são reduzidos, reutilizados e reciclados. O movimento dos materiais e das pessoas é também reduzido. Deve-se ter um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar. Acesso fácil deve ser providenciado aos equipamentos e

suprimentos mais usados. Ao se repensar o trabalho para que o mesmo fique à prova de erros, estará também se robustecendo o próprio trabalho.

6. Então a melhoria contínua torna-se uma prática cotidiana. São muitas as oportunidades para se aprender e melhorar alguma atividade. A criação de um clima que dê suporte às melhorias é crucial para sustentação dos esforços de mudança. Treinamento e educação devem ser estimulados para aqueles que sejam essenciais e para os que suportem o fluxo do valor. A comunicação entre processos diferentes deve ser construída e estimulada, de modo que se possa adaptar a trabalhos diferentes quando necessário. O local de trabalho deve primar pela segurança e ser ergonomicamente excelente. A metodologia de resolução de problemas deve ser fortemente cultivada na cultura organizacional.

2.3.4.1 Reestruturando a Organização

Implementar a Manufatura Enxuta não é apenas aprender um conjunto de novas ferramentas. A implementação também envolve mudança da cultura corporativa, mudanças na estrutura organizacional e o aprendizado de novos comportamentos, consistentes com as novas estrutura e cultura. As Organizações *Lean* são estruturadas para focalizar as necessidades do cliente através do suporte àqueles que adicionam valor ao produto. A Organização *Lean* ideal apresenta as seguintes características:

- Uma forte parceria entre o sindicato e a gerência;
- Garantia de emprego;
- Uma cultura de solução de problemas;
- Foco no trabalhador da linha de frente;
- Grupos de trabalho com poder de decisão e características multitarefas;
- Comunicação e *feedback* frequentes;
- Comprometimento com treinamento e educação continuada;

- Mentalidade voltada à melhoria contínua;
- Confiança e respeito mútuos;
- Desenvolvimento e alinhamento de políticas da empresa.

As atribuições da liderança também mudam em um ambiente enxuto. Os típicos desafios às culturas tradicionais das organizações incluem a mudança:

- Da liderança de comando e controle para o gerenciamento participativo;
- Da recompensa às conquistas individuais para a recompensa ao trabalho em equipe;
- Da manutenção do *status quo* para a melhoria contínua;
- Do ocultamento de erros para ressaltar problemas e praticar uma ativa solução de problemas;
- De um ambiente competitivo para um local colaborativo de trabalho;
- De trabalhadores especializados para multitarefas.

2.3.4.2 Uma Proposta para a Gestão Enxuta de Efetivo (Pessoal)

A medida em que se implementa a *LM* em um ambiente de manufatura, os processos passam a, eventualmente (e bem mais cedo do que se imagina), requerer uma quantidade significativamente menor de trabalhadores. Na verdade, não haverá trabalho suficiente para manter a todos os trabalhadores de chão-de-fábrica ocupados com a fabricação de peças, a menos que ocorra um crescimento significativo dos negócios da empresa. Nesta situação, recomenda-se que as dispensas sejam evitadas a qualquer custo. Como se pode, então, utilizar este “excesso” de efetivo?

- Não é incomum formar-se um escritório ou departamento para coordenar todas as atividades de melhoria contínua. Algumas organizações chamam a isso de “Escritório *Lean*”, ou Departamento de Melhoria Contínua, ou algo semelhante. Este departamento deve ser composto por um gerente/diretor, e vários Times de Melhoria.

- Deve se determinar, da melhor maneira possível, qual é o atual nível mínimo aceitável de pessoal. Isto é definido como a MÍNIMA quantidade de pessoas necessárias para se realizar as operações de produção sob as condições vigentes. Então o pessoal “em excesso” deverá ser realocado imediatamente para o Escritório *Lean* (removendo-se da produção inclusive vários dos seus melhores profissionais), onde eles formarão o núcleo inicial dos Times de Melhoria.

- O Escritório *Lean* deve, então, começar com uma rotação de tarefas, envolvendo 1/3 do seu tempo em atividades de treinamento interno em técnicas de Manufatura Enxuta, 1/3 do tempo em atividades de melhoria contínua e dedicando o 1/3 restante de seu tempo à participação em atividades externas, como congressos, visitas à outras organizações, cursos de aperfeiçoamento, etc.

Funcionalmente o Escritório *Lean* ideal teria a seguinte composição: O Gerente/Diretor, que teria a responsabilidade de supervisionar os vários Times de Melhoria, coordenando também o treinamento e as atividades externas dos times, além de definir as metas de melhoria (que irão dar suporte às metas organizacionais) e os Times de Melhoria (que podem variar em quantidade, dependendo do número de células de manufatura, de linhas de produtos ou de departamentos funcionais da organização). Tais times seriam compostos, cada um, por um Engenheiro Sênior e um Engenheiro Júnior (os quais formariam, como Engenheiros de Melhoria Contínua, o único efetivo permanente do Escritório *Lean*), e de quatro a sete pessoas da produção.

Os Engenheiros de Melhoria Contínua seriam *experts* nas várias áreas da Metodologia *Lean*, e o efetivo total destes engenheiros formariam o quadro de instrutores dos times. Este quadro de instrutores deve treinar os times em todos os aspectos da Manufatura Enxuta (como um grupo) e os times de Engenheiros de Melhoria Contínua devem coordenar as atividades de Melhoria Contínua nas células de manufatura, nas linhas de produtos e nas áreas funcionais.

Os demais membros dos Times de Melhoria (aqueles do chão de fábrica) integrariam os times por um período de tempo pré-determinado, diga-se de um mínimo de três a um máximo de seis meses. Durante esta rotação os times deveriam participar de atividades *Lean*/Melhoria Contínua em todas, ou na maioria das células de manufatura, linhas de produtos e áreas funcionais. Ao final deste período este pessoal retornará ao local de trabalho, e os indivíduos seguintes, que tiveram o melhor desempenho na produção, passarão a ocupar os lugares nos Times de Melhoria Contínua.

Conseqüentemente é criado um grupo de “super-homens *Lean*”, que formarão a base de um esforço, contínuo e de longa duração, voltado à melhoria no chão de fábrica (mesmo sem a direção do Escritório *Lean*). A constante rotação de pessoal, para dentro e para fora do Escritório *Lean* (que, por sua vez, tenderá a ficar cada vez menor, devido à saída natural de profissionais indiretos – que não deverão ser repostos - para o mercado) irá assegurar a formação de uma força de trabalho que compreende totalmente as metas e as práticas da Manufatura Enxuta, e que irá apoiar os esforços da empresa.

Deve-se notar que:

1. Eventualmente, o Escritório *Lean* terá muito poucos representantes do chão de fábrica, mas será sempre capaz de conduzir atividades de melhoria dentro das células.

2. Seria recomendável que os Engenheiros Sênior de Melhoria Contínua de cada time devotassem a maior parte de seus esforços na redução dos desperdícios, como foco primário (o que, na verdade, cobre cerca de 80% dos esforços da Manufatura Enxuta), enquanto que os Engenheiros Junior focalizaria seus esforços nas outras áreas, como na implementação dos fluxos de valor e dos sistemas puxados.

3. É importante que, logo no início, sejam engajados os **melhores** representantes no Escritório *Lean*. Estas são as pessoas que, tipicamente, têm alta motivação e boas habilidades de pensamento crítico, além do efetivo entendimento das características dos produtos e processos. Isto irá ajudar a garantir o sucesso do empreendimento e assegurará o “momento” necessário ao programa.

4. O período de “rotação” (dentro do Escritório *Lean*) assegura que as idéias e as melhores práticas de todas as áreas da organização sejam devidamente circuladas, dando uso verdadeiro e palpável ao “capital intelectual” da empresa.

2.3.5 A Operacionalização das Diretrizes para a Produção Enxuta

Justamente visando tornar mais operacionais as diretrizes genéricas propostas por Womack & Jones (1996), diversos autores apresentaram propostas para a viabilização da produção enxuta em termos de princípios mais específicos.

Koskela (1992) apresenta um conjunto de princípios operacionais, enfocando a necessidade de balanceamento entre conversões e fluxos. Para este autor, obtém-se a produção enxuta quando são praticados os seguintes princípios:

1. a redução da participação de atividades que não agregam valor ao produto final;
2. o aumento do valor presente nos produtos acabados através da consideração dos requisitos dos clientes finais;
3. a redução de variabilidade no processo produtivo;
4. a redução dos tempos de ciclo;
5. a simplificação do processo através da minimização de etapas, componentes e ligações entre atividades;
6. o aumento na flexibilidade das saídas do processo;
7. o aumento na transparência do processo;
8. o controle focado no processo como um todo, e não em sub-processos

isoladamente, como sustenta o modelo de conversões;

9. a geração de melhoria contínua no processo;

10. o balanceamento entre melhorias nos fluxos e nas conversões;

11. a aplicação de práticas de *benchmarking*.

Cusumano (1994) indica um conjunto de princípios destinados à gerência enxuta da produção, agrupados em especial segundo as necessidades de gerenciamento da produção e do desenvolvimento de projetos.

Para o gerenciamento da produção são propostos os seguintes princípios: a minimização dos lotes de produção, a minimização de estoques intermediários no processo, a concentração geográfica da produção de componentes e montagem, a demanda puxada com cartões *kanban*, o nivelamento da produção, a redução do tempo de preparação das máquinas, a padronização do trabalho, entregas automatizadas a prova de falhas - *poka-yoke*, trabalhadores polivalentes, aumento da terceirização, uso seletivo da automação e melhoria contínua do processo.

Para o desenvolvimento de projetos, Cusumano propõe-se os seguintes princípios: a substituição rápida de modelos, a expansão constante da linha de modelos, a sobreposição e compressão das etapas de desenvolvimento de projetos, o aumento da participação dos fornecedores no processo de desenvolvimento do projeto, a utilização de gerentes de projeto para a coordenação do desenvolvimento dos projetos, a manutenção e continuidade dos gerentes de projetos e dos times de projetos, o cumprimento rígido da programação de engenharia, o estabelecimento de bons mecanismos de comunicação, a utilização de engenheiros e equipes de projetos polivalentes (abordagem multidisciplinar), habilidade para utilizar ferramentas de projeto baseada no computador (CAD) e a melhoria contínua do produto.

2.4 AS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA EMPRESA ENXUTA (*LEAN ENTERPRISE*)

Apesar dos excelentes resultados obtidos na aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta, as experiências vivenciadas demonstram que esta aplicação em atividades discretas não atingia o ponto ótimo esperado. Se os **avanços individuais** pudessem ser ligados entre si, tanto acima quanto abaixo na cadeia de valor, de modo a formar um Fluxo Contínuo do Valor, que criasse, vendesse e provesse serviços a uma família de produtos, a performance do **todo** poderia ser elevada a um nível dramaticamente maior. Foi exatamente neste ponto, em que as atividades que geravam valor tinham de ser interligadas, que se idealizou um novo modelo organizacional, necessário para promover todo este esforço: a Empresa Enxuta.

Sob a ótica de Womack, a empresa enxuta é um grupo de indivíduos, funções e companhias, sendo estas legalmente separadas umas das outras, mas operacionalmente sincronizadas entre si. A noção de Fluxo do Valor define a Empresa Enxuta. A missão do grupo é, coletivamente, analisar e focalizar um fluxo do valor de modo que ele faça tudo o que for necessário para suprir um bem ou serviço (desde o desenvolvimento e a produção até as vendas e assistência técnica) de tal forma que seja entregue o máximo valor ao cliente. A Empresa Enxuta difere dramaticamente da tão discutida **corporação virtual**, cujos membros estão constantemente indo e vindo, pois decididamente não existe a possibilidade de que uma entidade tão instável possa sustentar o nível de colaboração necessário para se aplicar às técnicas *Lean* ao longo de todo um fluxo do valor.

A criação de uma Empresa Enxuta implica em mudanças radicais nas políticas tradicionais de empregabilidade, nos papéis das funções exercidas dentro das companhias e nos relacionamentos entre as companhias presentes em um fluxo do valor.

Os gerentes têm, então, que se concentrar no desempenho da empresa, ao invés de supervisionarem a performance individual de pessoas, funções e companhias. Isto é considerado como sendo de primordial importância porque, mesmo que uma companhia seja a líder, a empresa deve ser unificada pelo compartilhamento da lógica e das perdas e ganhos.

Uma vez que, geralmente, interligar atividades enxutas é uma atividade difícil, tem-se freqüentemente deparado com reclamações, advindas do nível gerencial, sobre o quão trabalhoso é para estes profissionais adquirirem uma percepção clara e precisa de como enxergar o fluxo completo do valor, uma vez que estão acostumados a supervisionar funções discretas e atividades específicas, enquanto tentam cuidar dos interesses de suas próprias companhias. Por que, então, as companhias devem orientar suas atividades para atingirem um estado de Empresa Enxuta quando muitas delas ainda estão tentando, a duras penas, dominar os conceitos da Manufatura Enxuta? Oportunamente a explicação proveniente de Womack esclarece que, se todos os membros de um fluxo do valor não conseguirem “puxar” juntos, será quase impossível para qualquer membro manter o impulso necessário, e então, mesmo que um deles consiga obter um grande progresso em se tornar uma empresa enxuta, nem aquele membro e nem o fluxo como um todo conseguirão obter todos os benefícios se outro membro não atingir o mesmo estado.

Faz-se necessário, portanto, que seja providenciado um bom treinamento para todos os níveis da organização, pois sempre se deve ter em mente que as disciplinas *TPM* e *Lean Manufacturing*, enquanto praticamente técnicas, são mais, na verdade, de caráter **cultural**. Desta forma, todos os empregados da organização, sem exceções, devem receber um grande volume de informações sobre a nova cultura, sendo que este estado de alerta é crucial para se ter todas as pessoas sintonizadas na mesma freqüência.

2.4.1 Efeitos sobre os Recursos Humanos e a Organização

Um número cada vez maior de empresas busca na Filosofia *Lean* um novo paradigma para nortear suas operações em direção à redução de custos, de modo a torná-las mais competitivas. Para tanto, de maneira generalizada, estas empresas essencialmente dirigem seu foco para os seus processos de manufatura.

Em grande parte isto se deve ao fato de que a Toyota é mundialmente reconhecida pelo seu inovador sistema de produção, o *TPS - Toyota Production System*. O que nem todos ainda perceberam é que grande parte do sucesso atribuído ao *TPS* tem sua origem em fases anteriores à produção propriamente dita.

O ponto de partida do *Lean Thinking* é definir o que é valor para o cliente, traduzido em produtos e/ou serviços, ou como se prefere dizer, em **soluções** para os clientes.

A Toyota tem conseguido, sistematicamente, desenvolver seus produtos e respectivos processos com custos menores, mais rapidamente e com melhor qualidade do que seus concorrentes. Mas, em grande parte, este sucesso deve-se à aplicação da filosofia implícita no *TPS* em suas diversas atividades.

O processo de desenvolvimento dos produtos, além de ser capaz de captar as dimensões do que seria Valor para o cliente, é orientado pelas implicações operacionais e tecnológicas que estarão, num momento seguinte, presentes nos processos de manufatura, dentro e fora da empresa.

Assim como, por vários anos, os reais conceitos e práticas da manufatura Toyota ficaram escondidos, ou foram pouco compreendidos, agora o desafio é desvendar a "caixa preta" presente nos conceitos da empresa, nesta nova dimensão dos negócios. O que se tem estudado até o momento permite a identificação de mais três tipos de desperdícios, os quais, mesmo podendo ser considerados como inclusos naqueles já tradicionalmente combatidos pela Filosofia *Lean*, merecem uma consideração especial devido à sua rápida e crescente multiplicação nos últimos anos:

- Dispersão

Desperdício decorrente de mudanças freqüentes no modo de se fazer as coisas. Perde-se conhecimento e *know-how* que se adquiriu ao longo do tempo. A toda hora inicia-se uma nova "curva de aprendizagem", requerendo re-qualificações. O problema pode se agravar na medida em que as mudanças tornam-se mais constantes e abrangentes.

- *Handoffs*

É o desperdício causado pela separação entre conhecimento, responsabilidade e autonomia de ação. Muitas empresas separam essas três dimensões, buscando fragmentar as atividades ao máximo, acreditando que, quanto maior a divisão do trabalho, melhor. Existem gerentes que detêm a responsabilidade, porém têm poucos conhecimentos sobre design. Especialistas determinam os parâmetros para o *design*, mas não o geram. Supervisores de engenharia aprovam as partes e peças, mas não participam do design, assim como acontece com o operador do *CAD*, que determina as formas mas não conhece nada de engenharia e não tem nenhum grau de responsabilidade sobre o desempenho do projeto.

- *Wishful thinking*

Desperdício decorrente da inadequação de decisões, tomadas de forma precipitada, carentes de dados corretos, experimentações e questionamentos adequados. Os condutores de projetos tradicionais freqüentemente tomam decisões sem se basear em nenhum dado palpável, causando grandes desperdícios que vão se acumulando ao longo do tempo. Como exemplo temos os casos em que as especificações iniciais de um projeto, adotadas de forma tradicional e conservativa, acabam por impor inúmeras restrições ao longo do ciclo de vida do mesmo.

Para dar combate efetivo à estes “novos” desperdícios, que se somam àqueles tradicionalmente identificados pela Filosofia *Lean*, as pesquisas conduzidas por Ward (1999) sugerem a adoção de um Sistema, com cinco elementos fundamentais, integrados como mostrado na Figura 38 abaixo:



Fonte: Lean Institute Brasil

Figura 38 - Sistema Sugerido por Ward para o Tratamento dos Desperdícios Recentemente Identificados.

Examinar-se-á mais detalhadamente, a seguir, cada um destes elementos.

1. Foco na criação de fluxos rentáveis do valor

O objetivo final de um processo de desenvolvimento *lean* deve ser o funcionamento pleno de um fluxo de valor rentável. Projetar-se, conjuntamente, o produto que será manufaturado com as respectivas operações das quais ele resultará é fundamental para que se consiga otimizar a utilização dos recursos, evitando desperdícios e garantindo a rentabilidade econômica do negócio. Deve-se estar sempre atento para que os fluxos envolvidos nos processos de desenvolvimento estejam totalmente orientados para a criação de valor para o cliente final.

2. Liderança empreendedora sistêmica

Todo o processo de desenvolvimento na Toyota tem sua liderança e coordenação atribuída a um empreendedor experiente. A relevância desse líder é

reconhecida por todos como sendo de suma importância, pois seu papel permeia praticamente todas as dimensões envolvidas no processo. Esse líder deve conhecer profundamente os desejos e as aspirações do cliente final, devendo ainda garantir a rentabilidade do projeto, administrar conflitos e impasses, buscar consensos e prestar apoio técnico; enfim, deve ser capaz de nortear o processo como um todo, de forma a garantir seu sucesso.

3. Cadência, fluxo contínuo e puxado

Consiste em se atribuir ao conhecimento e à informação a mesma importância que se dá ao processo e ao produto no chão de fábrica, onde a Manufatura Enxuta faz com que o ritmo cadenciado e a lógica do fluxo contínuo e puxado sejam elementos operacionais essenciais para a agilidade e os baixos custos dos processos de desenvolvimento. Deste modo, cuida-se para que a informação e o conhecimento fluam de acordo com o *takt time*, de maneira contínua (sem esperas, sem retornos) e sendo efetivamente “puxados” pela demanda real da próxima etapa, ao longo de todo o desenvolvimento. Assim como a matéria-prima, os componentes, as ferramentas, as máquinas e os operadores, também a informação certa deve estar disponível no momento certo, no lugar correto e na quantidade adequada. É de suma importância ter-se em mente que uma das maiores fontes de desperdícios verificadas nos processos de desenvolvimento é exatamente o uso incorreto que se faz do conhecimento e da informação gerados antes, durante e depois do processamento.

4. Times de especialistas responsáveis

Os especialistas devem ser constituídos em times multidisciplinares, suficientemente autônomos e integralmente co-responsáveis pelo projeto. É atribuída a estes especialistas a responsabilidade de, estando imprescindivelmente imbuídos de uma visão sistêmica e holística de otimização, gerar, sistematizar e transmitir novos conhecimentos aos demais envolvidos no projeto; também cabendo a eles a tarefa de buscar inovações que agreguem valor e/ou sejam introdutórias de fatores diferenciais

de competitividade. Basicamente esses são os especialistas responsáveis pela transposição de barreiras tecnológicas e de conhecimento que estejam envolvidas na busca de fluxos de valor enxutos e rentáveis.

5. Engenharia simultânea baseada em conjuntos de soluções possíveis

Os projetistas da Toyota pensam em termos de conjunto de possíveis alternativas num primeiro momento, e, à medida que a data limite para o lançamento do produto se aproxima, esse conjunto de alternativas vai sendo refinado. As possíveis soluções vão se afunilando, sendo descartadas aquelas que se mostram inviáveis, e concentrando-se nas remanescentes os esforços de avaliação da equipe. O grande benefício auferido deste procedimento é o caráter definitivo de que se reveste o resultado final.

O critério de tomada de decisão no ponto mais tardio possível do processo de desenvolvimento também é adotado em várias situações pela Toyota. Neste caso, estas decisões são propositadamente retardadas, por mais paradoxal que isso possa parecer, pois se tomadas no início do processo, e de forma equivocada, podem impactar negativamente grande parte do trabalho a ser feito dali em diante. Atrasos dessa natureza podem comprometer o prazo de lançamento de um novo produto e inviabilizar todo um projeto.

Uma característica muito interessante (e que exige um grau de disciplina e interação dificilmente visto nas organizações latino-americanas) é que as informações mesmo incompletas e de caráter não-definitivo são antecipadas para os fornecedores, os quais aplicam o mesmo método depurativo que a Toyota, apresentando uma gama de soluções e, analisando-as juntamente com a montadora, descartando-as progressivamente na medida em que se verifiquem ser as menos viáveis. É praticamente supérfluo comentar que a Toyota tem estabelecido com seus fornecedores uma relação de efetiva e eficaz parceria, em que todos trabalham em

uníssono para alavancar a competitividade da montadora, compartilhando abertamente suas fontes de conhecimento.

Para que conceber o produto nos mínimos detalhes sem considerar as restrições a que estará sujeita a manufatura desse produto? É por isso que não se prossegue no desenvolvimento do produto sem se ter a certeza de que aquilo que ali se está concebendo é plenamente viável dentro de um conjunto de restrições operacionais muito claras a todos os envolvidos.

Sumarizando:

O "Aprendizado Emergente" está implícito nessa dinâmica pois se trata de saber gerir o conhecimento acumulado com as experiências, ao longo do tempo. Não se "reinventa a roda" a cada novo projeto. Dá-se enorme importância às lições aprendidas, as quais não se deve perder.

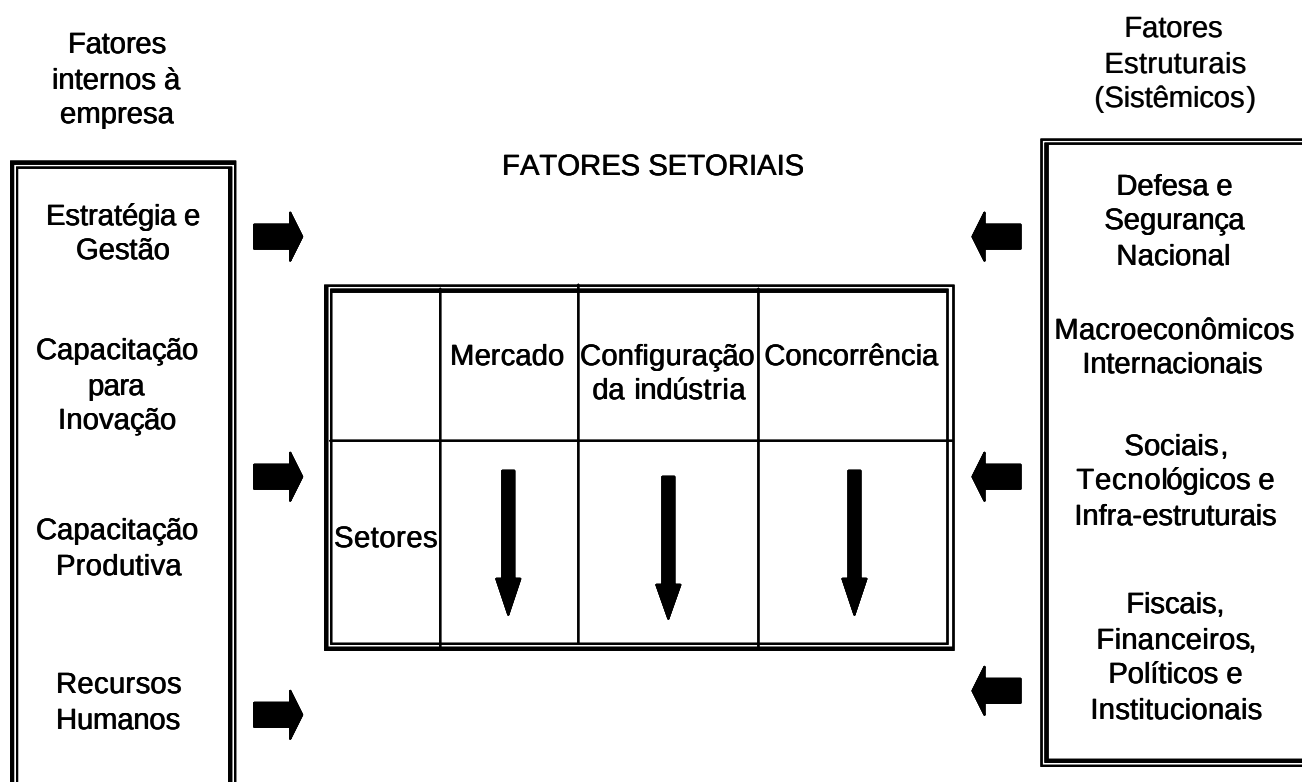
Esse conhecimento acumulado não fica restrito a documentos formais ou rotinas sistematizadas apenas, mas se concentra também sob a forma de experiências pessoais daqueles ligados ao projeto. São essas pessoas, trabalhando sob supervisão de uma "liderança empreendedora", inseridas num processo de comunicação eficiente e direto e sob a forma de equipes multidisciplinares, que tornam factível o excepcional desempenho verificado nas fábricas da Toyota.

O Desenvolvimento *Lean* de Produtos está totalmente alinhado com a Filosofia *Lean* e com as práticas adotadas na empresa, quer sejam na fábrica, na relação com clientes e fornecedores e na organização das ações internas e gestão dos fluxos do valor.

2.4.2 A Manufatura Enxuta e o Desenvolvimento de Competitividade e Inovação Tecnológica

O enfoque estratégico da Manufatura Enxuta, embora não disponha de um extenso embasamento teórico divulgado e consistente, apresenta especial afinidade com as características particulares dos processos de manufatura aeronáutica, compreendendo, necessariamente, sua evolução intrínseca ao produto por ela gerado, e já neste trabalho claramente alçada à esfera de Sistema Estratégico de Manufatura, incorpora as necessárias modificações para adaptar-se às características ímpares do processo inovativo, da aprendizagem tecnológica, e da diversidade produtiva, técnica, organizacional e de mercado da indústria aeronáutica, sendo construída com base em um enfoque pertencente ao campo da gestão de operações industriais, por valorizar este processo como sendo abrangente da quase totalidade do ambiente empresarial e, principalmente, extremamente atuante sobre a essência da atividade econômica empresarial e de sua interação competitiva com as formas institucionais que regem a competitividade global. Em relação às formas institucionais, como registra Possas (1996), o atual quadro de globalização, com mudança radical de paradigma tecnológico, vem abrindo caminho para novas formas institucionais, que consistem, por exemplo, na formação de alianças estratégicas e parcerias produtivas, tecnológicas, financeiras e patrimoniais (*joint ventures*), na busca de sinergias extra-firma e condições redutoras de riscos negociais. Estas não são mais meras "externalidades", uma vez que envolvem cada vez mais decisões internas às empresas e definições estratégicas que, ao contrário, procuram internalizar privadamente as vantagens externas que, por serem de natureza interativa, não poderiam ser obtidas sem algum esforço compartilhado, em cooperação ou de forma semelhante, estabelecendo novos modelos de articulação entre atividades e interesses privados ou públicos/privados. Se o *locus* da concorrência é, por definição,

o mercado, seu agente é, naturalmente, a empresa, mediante a formulação e a execução de estratégias competitivas. No entanto, como a dinâmica de competitividade pressupõe a capacidade inovativa (*lato sensu*), as condições específicas (tecnológicas, produtivas e de mercado) da indústria considerada e do ambiente econômico num sentido mais amplo (externalidades físicas, sociais, técnico-científicas; condições institucionais; aparato regulatório) são decisivas para que as empresas desenvolvam seu potencial competitivo, naturalmente diferenciado e assimétrico (ver Figura 39 abaixo).



Fonte: Coutinho e Ferraz (1994)

Figura 39 - Fatores Determinantes da Competitividade da Indústria

A competitividade é definida como a capacidade de uma indústria ou de uma economia produzir mercadorias com padrões de eficiência e qualidade compatíveis

com as normas internacionais de comércio, utilizando recursos/insumos em níveis similares ou inferiores (baixo custo); sustentar e expandir a participação nos mercados mundiais; manter a permanência desses produtos em médio prazo; e de conquistar novos mercados pela geração contínua de vantagens competitivas. Essa capacidade é, *a priori*, transitória, pois resulta, por um lado, de fatores mutáveis que operam no espaço da firma (instalações, organização do processo de trabalho, investimentos em P&D etc.), do setor (grau de concentração de capital, economia de escopo e escala, padrões de concorrência) e da economia (estrutura industrial, de mercado etc.); e, por outro lado, de fatores sociais e políticos institucionais (políticas governamentais, agências de P&D, padrão de intervenção do Estado).

Os fatores relacionados ao nível macrossistêmico, por exemplo, compreendem as variáveis que estimulam a criação e a consolidação de um ambiente macroeconômico concorrencialmente saudável e propício à inovação, assim como as condições de reestruturação do mercado mundial de aviões. Esse nível abrange as políticas de corte puramente macroeconômico (cambial, fiscal, comercial e creditício), bem como as políticas de fomento e promoção (incentivos à ciência e à tecnologia, P&D, a reestruturação e à modernização, pelo poder de compra do governo).

O nível mesossistêmico, que estabelece uma interseção fundamental entre os níveis macro e micro, está associado ao arcabouço institucional regulatório e às políticas governamentais que moldam o ambiente em que as empresas atuam e desenham suas estratégias.

São fatores que provêm das chamadas externalidades dinâmicas à competitividade, como condições de infra-estrutura de transporte, energia e comunicações, ciência e tecnologia, de educação e qualificação da mão-de-obra para os atuais perfis tecnológicos, a interação entre as instituições públicas de P&D e as empresas, ou ainda as sinergias decorrentes da qualidade do padrão de localização industrial. Com isso, pretendeu-se examinar o papel que as engenharias, a

qualificação dos recursos humanos e dos suportes institucionais, os institutos de pesquisa e os fatores locacionais exerceram para o êxito na aquisição de um padrão de excelência técnica e competitividade mundial no setor.

Ao nível microssistêmico, são focalizadas as determinantes críticas de gestão das inovações técnico-organizacionais, escolhas estratégicas e a trajetória tecnológica industrial percorrida, o padrão de relações de trabalho, de qualificação profissional e a cultura organizacional das empresas e a relevância desses determinantes no ciclo de aprendizado/aperfeiçoamento técnico ao longo do desenvolvimento da implementação do Sistema de Manufatura Enxuta neste segmento da indústria nos países pesquisados. Através das respostas à pesquisa efetuada buscou-se descrever as mutações ocorridas na esfera dessas relações no plano organizacional e tecnológico, bem como nas formas de produção aeronáutica.

2.4.3 A Empresa Enxuta, o Sistema de Manufatura Enxuta e a Indústria Aeronáutica

2.4.3.1 LEM - O Modelo para Empresas Enxutas (*Lean Enterprise Model*)

O *LEM – Lean Enterprise Model*, ou Modelo para Empresas Enxutas, representa um processo evolucionário de mudança e adaptação, não um estado final idealizado por uma tendência ou inovação tecnológica. O conceito organizador central é o “empreendimento sustentável”, onde a corporação edifica processos e relações de ganhos-mútuos com os seus múltiplos sustentáculos (colaboradores-administração, montador-fornecedor, montador-distribuidor-cliente, empresa-acionista, empresa-governo-sociedade-ambiente).

Podendo ser classificado como uma ferramenta, o *LEM* atuará de maneira a facilitar à organização que a utilize a montagem de toda a arquitetura necessária para se visualizar melhor tanto os conceitos que fundamentam os passos e os procedimentos que devem ser seguidos quanto o que se deve esperar em termos de

atingimento de metas e objetivos, em sua jornada rumo ao estado de Empresa *Lean*, seja no início do processo de planejamento de suas atividades (nascido), seja no processo de transformação de uma Empresa Convencional para uma Empresa Enxuta.

Baseando-se em sua experiência profissional, o autor recomenda que se visualize o *LEM* como uma ferramenta tão indispensável para a elaboração do Mapa de Estado Futuro e do correspondente Plano de Implementação/Transformação da Organização, quanto o é uma bússola magnética ou, em termos mais modernos de navegação aeronáutica, um *GPS*, para a chegada mais rápida e segura do viajante a seu destino.

Os principais benefícios acarretados pela efetiva utilização do *LEM* têm sido reportados como sendo, principalmente, o uso mais eficiente dos recursos, a maior rapidez no ciclo de desenvolvimento dos produtos, a obtenção de maior qualidade a um custo mais baixo, e uma produção ambientalmente sustentável, sem, no entanto, limitarem-se somente a estes aqui mencionados.

2.4.3.2 O que é o LEM - Suas Origens e Conceitos

O Modelo de Empresa Enxuta - *Lean Enterprise Model (LEM)* – é uma planilha sistêmica projetada para organizar os resultados das pesquisas do *Lean Aircraft Initiative (LAI)* e comunicá-los aos parceiros industriais e governamentais. O *LEM* também serve como um modelo e um agente catalisador para as mudanças *lean*, principalmente nas indústrias do mercado norte-americano de defesa aérea.

O *LEM* incorpora e abrange os princípios e práticas das empresas *lean*, registrando dados de *benchmarking* obtidos através de questionários, estudos de casos e outras atividades de pesquisa. Oficialmente disponível somente aos membros do consórcio *LAI*, o *LEM* serve como uma referência para ajudar a estes membros a melhor compreender, analisar e visualizar o estado *lean* de seus próprios processos e

de suas organizações. O *LEM* visa fornecer *insights* a respeito de para onde se devem direcionar os esforços *lean* no futuro.

Basicamente o *LEM* é:

- Uma estrutura-modelo para disseminar os resultados das pesquisas do *LAI* para seus membros do consórcio.
- Uma ferramenta de referência para ajudar na auto-avaliação do estado *lean* de processos e organizações.
- Um guia para identificar pontos de nivelamento para mudanças organizacionais.
- Uma ferramenta para encorajar o desenvolvimento de novos paradigmas *lean* relativos ao projeto, desenvolvimento e fabricação de produtos aeronáuticos e aeroespaciais, principalmente militares.

O *LEM*, entretanto, não deve ser visto como:

- Um *checklist* pelo qual as organizações na cadeia de valor devem ser julgadas e avaliadas como sendo *lean* ou não.
- Uma exaustiva validação empírica de todas as práticas *lean*.
- Um “livro de receitas” para a implementação das práticas *lean*.

2.4.3.3 Representação Gráfica do *LEM*

Encontra-se ilustrada na Figura 40, em que se representa graficamente o modelo desenvolvido pelo *LAI* – *Lean Aerospace Initiative*, do *MIT*, devidamente traduzido pelo autor.

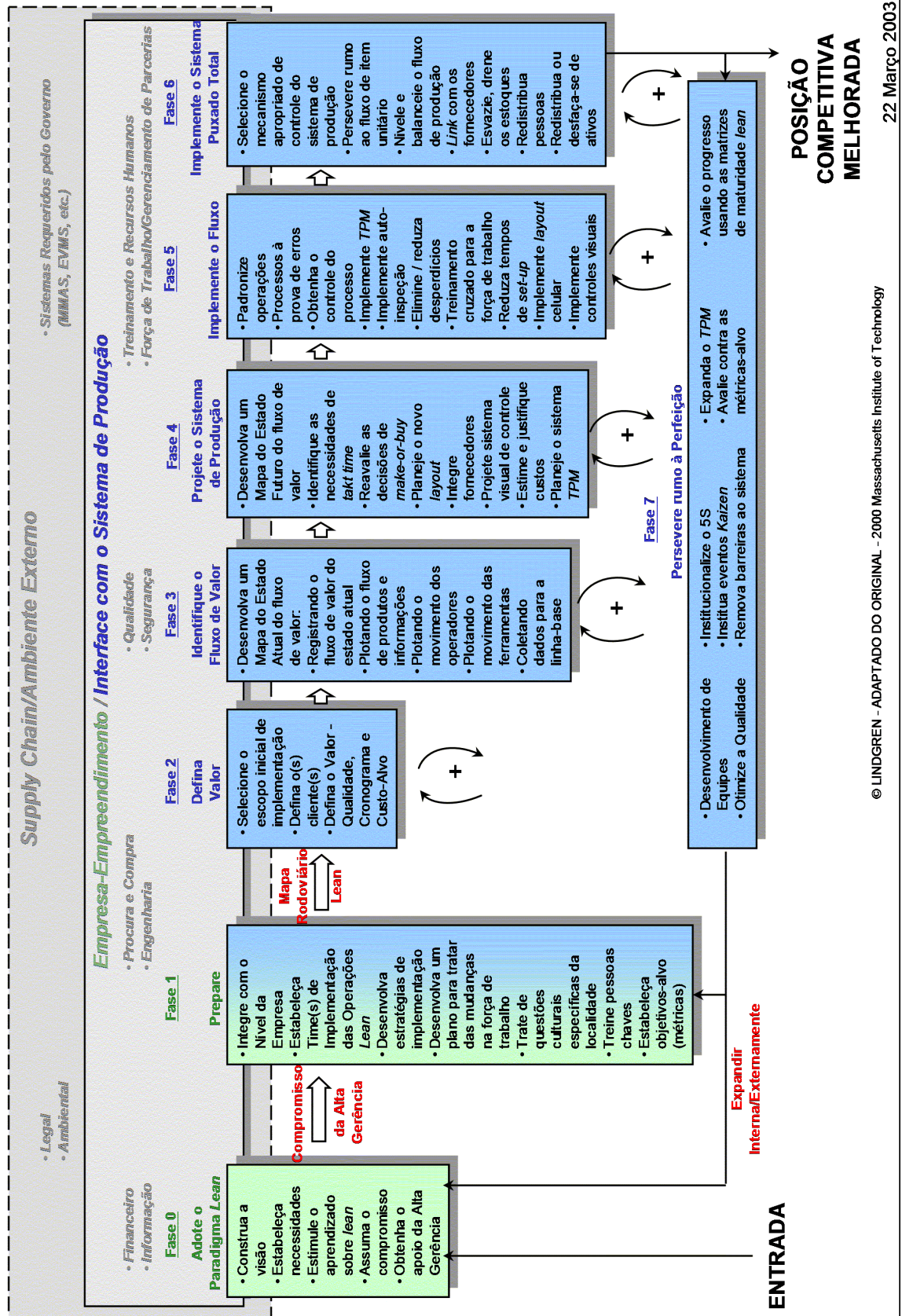
2.4.3.4 Entendendo o *LEM*

O *LEM* preconiza:

- * Ter-se a coisa certa no lugar certo, no tempo certo e na quantidade certa.
- * Relacionamentos efetivos e eficazes dentro de todo o fluxo do valor.
- * Qualidade ótima já com a primeira unidade de produção.
- * A Melhoria Contínua.

Ou seja, atingir e manter-se em um estado *lean* no qual o contínuo exercício das práticas *LEM* fará com que sejam gradual e efetivamente combatidos e eliminados os desperdícios de tempo, distâncias percorridas, peças sucatadas, retrabalhos, reprocessamentos, superprodução, grandes estoques (para combater ciclos de produção e transporte extremamente longos), má utilização das horas-homem disponíveis e relacionamentos sofríveis com as pessoas e as organizações que fazem parte da cadeia de suprimentos, apenas para citar algumas das classes de perdas que se tornaram comuns na indústria aeronáutica mundial. Um estudo detalhado das Figuras 40 e 41 deverá trazer contribuições de grande valor no entendimento dos processos de Implementação, Transição e Aperfeiçoamento das Práticas *Lean* nas Indústrias Aeronáuticas.

Mapa de Transição-para-Lean das Operações de Produção



Fonte: MIT. – Traduzida pelo autor.

Figura 41 - Transição das Operações de Produção para os Princípios Lean

3 PROPOSIÇÃO

Basicamente avaliaram-se as informações sobre as melhorias advindas da implementação do Sistema de Manufatura Enxuta, analisando-as sob os aspectos inerentes a cinco áreas principais:

- (1) flexibilidade;
- (2) eliminação de desperdícios;
- (3) otimização (do desempenho da área de manufatura da empresa);
- (4) controle dos processos;
- (5) utilização das pessoas.

Tem-se que as características destas áreas permitem que sejam ligadas diretamente à definição dos princípios *lean* feita anteriormente, além de servirem como elemento exploratório de ligação entre as diferentes filosofias de produção aeronáutica adotadas pelas empresas em resposta aos desafios identificados durante a implementação.

Ao serem expandidos os conceitos destas cinco áreas para seções mais específicas, como ilustrado na Figura 42, localizada na página seguinte, podem ser obtidas as características mais detalhadas que classificam as indústrias sob o critério de efetiva incorporação dos conceitos enxutos nas empresas consideradas como as melhores do ramo. Deve ser notado que a presença destas características, em maior ou menor grau, encontra-se avaliada, sempre que possível, através das informações recebidas das indústrias aeronáuticas selecionadas, devendo ser evidente e observável durante a avaliação da extensão da incorporação dos conceitos *lean* nos diferentes processos dentro das empresas. Os resultados desta incorporação, sejam eles quantificados em valores específicos ou índices percentuais, sejam expressos em termos descritivos e qualitativos, assim como as informações sobre ações que facilitaram o processo de implementação da Manufatura Enxuta e as principais

dificuldades encontradas, são os indicadores mais precisos sobre a eficácia do processo adotado em cada empresa respondente.



Fonte: *Lean Enterprise Institute – Lean Manufacturing Conference*, Abril 2001

Figura 42 - Modelo de Visão Global *Lean* Automotiva

Em resumo, neste trabalho buscou-se informações que ajudassem a responder às seguintes perguntas, consideradas “chave” para o entendimento e a avaliação da implementação do Sistema de Manufatura Enxuta nas principais indústrias aeronáuticas da atualidade:

Como se optou pela implementação do Sistema de Manufatura Enxuta nas empresas pesquisadas? O que motivou as empresas a buscarem a incorporação deste sistema?

Quais foram as características gerais do Plano de Implementação e quanto tempo foi estimado para cada fase?

Em linhas gerais, como foi realizada a capacitação dos orientadores e a efetiva implementação do Sistema de Manufatura Enxuta?

Esta implementação se deu de forma generalizada ou foi selecionada, inicialmente, uma área-piloto?

Se abrangida no Plano de Implementação, quais foram os resultados obtidos na Área de Desenvolvimento de Produtos (Projetos, Qualificação de Materiais e Fornecedores, Ensaio no Solo e em Voo, Transição para a Manufatura)?

Como foi abordada a implementação do sistema junto aos trabalhadores das áreas atingidas?

Quais foram os indicadores selecionados para avaliar o sucesso da implantação?

Quais foram os principais problemas encontrados durante a implantação? Quais foram as medidas corretivas e preventivas adotadas para a solução destes problemas?

Quais foram os resultados obtidos? Estes resultados corresponderam àqueles teoricamente esperados na incorporação dos conceitos de Manufatura Enxuta?

Como foi tratada a eventual redução da necessidade de mão-de-obra nas áreas onde o Sistema de Manufatura Enxuta foi implementado?

Como foram tratadas as incompatibilidades entre os princípios *lean* e as características das Logísticas Interna e Externa dos fabricantes aeronáuticos?

Como se deu a implantação dos conceitos de Manufatura Enxuta nos Programas e/ou Processos em que as Empresas operam com Parceiros, Nacionais e/ou Internacionais?

Baseando-se nos resultados atingidos, o que se poderia ter feito para obter resultados melhores? Quais foram as principais lições aprendidas?

Qual é o estágio atual da incorporação dos conceitos do Sistema de Manufatura Enxuta nas empresas pesquisadas? Qual é a importância atribuída a estes conceitos no Planejamento Estratégico destas empresas?

4 METODOLOGIA

Apesar de muito já se ter escrito sobre o assunto Manufatura Enxuta, ainda são consideravelmente complexos os modelos que atualmente existem para coletar todas as informações disponíveis sobre as práticas e as performances operacionais que efetivamente compõem o Sistema de Manufatura Enxuta, classificando-as e agrupando-as em uma estrutura unificada. Desta forma, o primeiro estágio da pesquisa foi dedicado à criação de um modelo que pudesse, então, servir como um padrão (*template*) a partir do qual foi norteadas a coleta de dados e a avaliação da situação de cada uma das indústrias aeronáuticas pesquisadas.

O processo de criação efetiva do modelo mencionado teve início com a sedimentação dos principais conceitos e definições referentes à Manufatura Enxuta, sendo que o início se deu com a definição do próprio termo. Neste trabalho preferiu-se adotar a definição de Manufatura Enxuta elaborada por Womack et al (1992), e complementada pelo trabalho de Clarke & Fujimoto (1991), conforme já se abordou no Sub-Capítulo 2.3 Os Princípios do Sistema de Manufatura Enxuta.

Partindo deste princípio, o trabalho desenvolveu-se sob a ótica de que as práticas adotadas e as medições dos índices e resultados da Manufatura Enxuta são, efetivamente, a resposta das melhores companhias (também conhecidas por *best in class*) aos seus ambientes em constante mudança.

Esta informação é de considerável importância, pois delimita e descreve o contexto no qual as respostas estratégicas e operacionais originadas neste setor da indústria foram efetivamente estudadas. Complementando esta fase inicial de coleta de informações, foi desenvolvido um processo de questionamento aberto para obter informações sobre como estas companhias desenvolveram seu direcionamento estratégico e se, como resultado, elas identificaram quais foram os fatores críticos para o sucesso na implementação do Sistema de Manufatura Enxuta.

4.1 TIPO DE PESQUISA

Adotando-se o publicado por Vergara (2000) como base para classificação do tipo de pesquisa efetuada neste estudo, tem-se que a qualificação da mesma quanto aos seus fins e seus meios de investigação para atingi-los será a seguinte:

Quanto aos fins, a pesquisa realizada pode ser classificada como sendo exploratória, pois foi realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado, não comportando, por sua natureza de sondagem, a formulação prévia de hipóteses que, todavia poderiam surgir durante ou ao final da pesquisa. Ainda quanto aos fins a pesquisa pode também ser classificada como descritiva e metodológica, pois pretende expor as características da implementação de um sistema de manufatura nas principais indústrias aeronáuticas da atualidade, propondo-se, ainda, a servir de base para a coleta de material que será publicado como “Melhores Práticas Adotadas Globalmente para a Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) nas Indústrias Aeronáuticas da Atualidade”, cujo caráter é, principalmente, metodológico.

Com relação aos meios, considera-se a pesquisa como sendo, ao mesmo tempo, bibliográfica, pois foram utilizados livros, artigos, periódicos, teses e dissertações, além de estudos de caso, devidamente circunscrito ao ambiente de manufatura nas indústrias aeronáuticas, e de investigação *ex post facto*, tendo sido estudados, principalmente, casos onde o estágio de implementação dos conceitos de *Lean Manufacturing* já tenha sido dado por concluído. Ainda com relação aos meios, a pesquisa pode também ser classificada como “de campo”, pois fez uso de questionários abertos, em inglês, para a coleta de dados junto às principais indústrias aeronáuticas da atualidade.

Justificando-se aqui a utilização de um questionário aberto ao invés de um questionário estruturado, tem-se que esta foi a solução adotada em resposta a uma sondagem previamente realizada, necessária para não somente se verificar a real

disposição das empresas pesquisadas em responder às perguntas constantes do questionário, mas também para obter os dados sobre a pessoa que seria, efetivamente, o responsável pela recepção do mesmo e pelo envio das respostas.

Tal sondagem revelou, basicamente, dois principais argumentos considerados para a recomendação de um questionamento aberto:

1. A grande competitividade existente entre as indústrias aeronáuticas, especialmente em se tratando do setor de fabricantes de aeronaves para transporte regional e *commuters*, gerando um ambiente de “preservação dos segredos de negócio a qualquer custo”, e
2. O fato da pesquisa original, estruturada, solicitar várias informações que são, tradicionalmente, consideradas de importância estratégica para as indústrias aeronáuticas, o que poderia ocasionar um excessivo atraso na resposta ao questionário, pois, quando da sua recepção, a avaliação do mesmo envolveria, além das áreas ligadas diretamente ao processo de manufatura, várias outras áreas e níveis hierárquicos das empresas (considerando-se como certa a intervenção de departamentos como o jurídico, o de *marketing* e o dedicado ao planejamento corporativo, além de, provavelmente, a própria alta administração). Foi ainda comentada a possibilidade desta múltipla apreciação do questionário estruturado ter como efeito a opção de, simplesmente, não se enviar nenhuma resposta à pesquisa recebida pela empresa.

Oportunamente, a simplificação do questionário original – composto por perguntas fechadas, de caráter complexo e que solicitavam informações que, na maioria das vezes, foram classificadas como sendo “segredo de negócio” (ou *business secret*) – deu origem à um questionamento mais aberto e que não demandava a exposição de informações, dados e fatos tão sensíveis para as organizações

pesquisadas. É interessante notar que a adoção de uma postura mais informal no relacionamento com os respondentes deu origem a um comportamento menos corporativo e mais pessoal, mais liberal no envio de informações, principalmente aquelas consideradas como sendo de livre acesso aos membros das organizações e já tendo sido, inclusive, apresentadas em treinamentos internos, palestras e seminários. O contato com a maioria dos respondentes passou, então, a se assemelhar muito mais com o intercâmbio de informações entre pesquisadores acadêmicos do que entre um funcionário de uma empresa e um mestrando.

4.2 UNIVERSO E AMOSTRA

Como já foi mencionado no Capítulo 1, a pesquisa foi aplicada no universo compreendido pelas indústrias classificadas como “principais fabricantes de aeronaves regionais da atualidade”, conforme critérios adotados pela publicação especializada *Aviation Week & Space Technology*, edição exclusiva *2003 Aerospace Source Book*, 13 de janeiro de 2003, seção dedicada aos *Prime Contractor & Major Manufacturer Profiles: Américas / Europe / Israel / Japan / Russian Federation / Northeast Ásia*, nomeadamente a europeia Airbus, a norte-americana Boeing, a brasileira Embraer e a canadense Bombardier, fazendo também uso de informações referentes a algumas indústrias representativas de países com notória tradição nas ciências aeronáuticas, como a Rússia, o Japão e a China, que efetivamente fabriquem, participem da fabricação na qualidade de parceiros ou consorciados, ou que estejam projetando a fabricação de aeronaves para o transporte aéreo regional, desde que sejam consideradas relevantes para o contexto principal deste trabalho, o qual não contempla o universo de indústrias classificadas como fornecedoras de segundo e terceiro níveis (*second and third tiers*) para as integradoras e montadoras finais.

4.3 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados através de pesquisa efetuada por meio de questionário aberto, enviado ao principal executivo responsável pela área de manufatura de cada uma das empresas pesquisadas, ou ao representante por elas indicado. Dada a abrangência transnacional deste trabalho este questionário foi, obrigatoriamente, elaborado em inglês, tendo sido precedido, necessariamente, por uma carta introdutória onde se apresentou a instituição de ensino, o curso e o pesquisador, explicando-se os propósitos da pesquisa e suas características, assegurando a confidencialidade das informações fornecidas em resposta e o acesso aos resultados advindos do processamento e análise dos dados obtidos, bem como, se solicitada, a preservação da identidade da empresa e do(s) indivíduo(s) respondente(s).

Uma cópia, em nosso idioma, do questionário enviado, encontra-se devidamente incorporada ao presente trabalho, tendo sido designada como Anexo 1 – Questionário Simplificado.

4.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados obtidos em resposta aos questionários enviados foram tratados quantitativamente e qualitativamente, em termos de respostas dadas às questões abertas, possibilitando a identificação de conceitos que, por maior ou menor repetitividade, fossem elencados em formas estruturalmente semelhantes e classificados conforme sua incidência no universo das respostas recebidas, analisando-os sob os aspectos inerentes a flexibilidade, eliminação de desperdícios, otimização (do desempenho da área de manufatura da empresa), controle dos processos e utilização das pessoas.

Tais informações, associadas à proveniência das respostas analisadas, permitiram também avaliar se a importância e a ordenação dada aos conceitos

necessários à implementação do sistema de manufatura enxuta nas indústrias aeronáuticas têm sido as mesmas, independente dos respondentes se situarem em diferentes regiões do planeta, possuindo diversidade de características e valores culturais.

Apesar da validação das respostas requerer, efetivamente, a averiguação *in loco* de evidências que corroborem os fatos e dados informados, tal procedimento revelou-se impraticável, pois envolveria o deslocamento às unidades fabris das principais indústrias aeronáuticas do mundo. Partindo-se deste princípio, resolveu-se tomar como fidedignas, prestadas de boa-fé, todas as respostas aos questionários que foram enviados.

Finalmente, faz-se necessário enfatizar que as informações recebidas de todas as empresas respondentes já mencionadas caracterizaram-se por sua heterogeneidade de forma e teor, particularidade esta já prevista e devidamente considerada, dado o caráter aberto do questionário simplificado enviado e da natureza informal dos contatos mantidos com os responsáveis pelo envio das informações em resposta. Entretanto, considera-se como tendo sido respeitado o foco do conteúdo em todas estas informações válidas, permitindo-se a exposição e a discussão das mesmas como se segue no próximo capítulo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Introdução

Tendo efetuado o devido tratamento das informações recebidas em resposta oficial aos questionários enviados, e complementando-as com as informações enviadas por iniciativa particular dos contatos nas empresas respondentes, apresentam-se a seguir os resultados da pesquisa efetuada neste trabalho.

Como já era esperado, as respostas mais completas e informativas foram aquelas recebidas dos quatro maiores fabricantes ocidentais de aeronaves para o transporte aéreo regional e *commuters*: a Airbus, a Boeing, a Bombardier e a Embraer, as quais foram devidamente complementadas com informações adicionais recebidas dos elementos de contato nestas mesmas empresas.

Entretanto decidiu-se, para o bem da avaliação da abrangência global da Filosofia de Manufatura Enxuta, também incluir algumas informações provenientes de indústrias consideradas representativas de países orientais com notória tradição nas ciências aeronáuticas, como a Rússia, o Japão e a China, conforme explicado no capítulo anterior.



5.2 AIRBUS **AIRBUS**

5.2.1 Origens

A Airbus passa a existir quando, em 18 de dezembro de 1970, Roger Berteille e Henri Ziegler, juntamente com alguns empregados, abrem uma garrafa de champagne e celebram o começo da empresa. Na ocasião, não havia linha de montagem, ou sequer um hangar. Resultante do somatório de forças da empresa francesa Sud Aviation (cujo principal produto era o jato Caravelle) e a British Aircraft Corporation, a Airbus teve como seu primeiro projeto um jato bimotor, com capacidade para 200

assentos. Dois anos depois, em 28 de outubro de 1972, este jato, o Airbus A300, faria seu primeiro voo.

5.2.2 Organização Corporativa

Atualmente a Airbus Industries é caracterizada por se constituir em um empreendimento conjunto da EADS (*European Aeronautic Defence and Space Company* EADS NV), que detêm 80% da empresa, sendo a inglesa British Aerospace (BAE SYSTEMS) a proprietária dos 20% restantes. Tratando-se de sua estrutura decisória organizacional, um Comitê de Acionistas, formado por sete membros (cinco da EADS e dois da BAE SYSTEMS), atua como conselho fiscalizador, aprovando o orçamento e o plano trianual de investimentos, além de novos programas e investimentos de maior porte.

Este Comitê de Acionistas é também responsável pela indicação dos membros do Comitê Executivo da Airbus, que são designados pelo CEO da empresa.

O Comitê Executivo, constituído por dez pessoas, é atualmente dirigido pelo Presidente e CEO Noël Forgeard. Ele inclui membros de cada uma das áreas de negócio consideradas *core business*, sendo responsável pelo gerenciamento de alto nível de todas as atividades da Airbus. Esta estrutura decisória visa assegurar a unicidade e a ampla incorporação da estratégia empresarial, bem como o estabelecimento e a fácil manutenção de linhas únicas e diretas de controle e comunicação empresarial, dentro de cada uma das áreas de negócios.

Reforçando esta abordagem transnacional e interfuncional, os Gerentes Gerais das entidades nacionais da Airbus localizadas na França, na Alemanha, na Espanha e na Inglaterra têm uma dupla missão, assegurando que todas as obrigações nacionais sejam atendidas e garantindo que as instruções emitidas pelas funções centrais sejam adequadamente implementadas. Consequentemente, os Gerentes Gerais são os responsáveis por todos os recursos humanos, industriais e financeiros das entidades

nacionais, pelo cumprimento das leis e dos regulamentos nacionais, bem como pela coordenação interfuncional dentro da corporação Airbus.

Atualmente classificada como o maior fabricante europeu de aeronaves civis, a Airbus, tendo evoluído para uma empresa constituída em consórcio pela combinação da franco-alemã-holandesa EADS (*European Aeronautic Defence and Space Company* EADS NV) com a inglesa BAE SYSTEMS, prevê que seus maiores desafios ainda estão por vir. A empresa não somente tem que manter um controle bastante rígido de seus custos, para poder se manter competitiva frente à sua maior rival, a norte-americana Boeing, em toda a (extensa) gama de modelos que constitui o seu *portfolio* de aeronaves, como também tem que prosseguir com o desenvolvimento e a operacionalização de alguns grandes novos projetos de manufatura que se encontram em andamento, incluindo-se nestes o da gigantesca aeronave A380, de 550 assentos, para o qual será necessário mobilizar profissionais extremamente capacitados, com larga experiência, durante a fase crítica de aumento (*ramp-up*) de produção.

As decisões estratégicas tomadas pela Airbus parecem estar surtindo efeito bastante positivos, segundo informações da própria companhia. Em 2003 a empresa entregou 305 novos aviões, resultado superior ao total previsto de 300 e também maior que os 303 efetivamente entregues em 2002. O faturamento correspondente a essas entregas efetivas é equivalente a cerca de 19,3 bilhões de euros, pelos preços de tabela dos aviões comercializados. Apesar da crise do mercado mundial a Airbus terminou o ano como o fabricante mais ativo do mundo de aeronaves de transporte de grande porte, tendo fechado 2003 com 284 novas encomendas firmes para 24 clientes. Em palavras dos próprios representantes da empresa européia, “isso significa que a Airbus tem agora trabalho assegurado para mais cinco anos, no ritmo atual de produção”.

5.2.3 A Família Airbus de Jatos Regionais – A320 (A318, A319, A320 e A321)

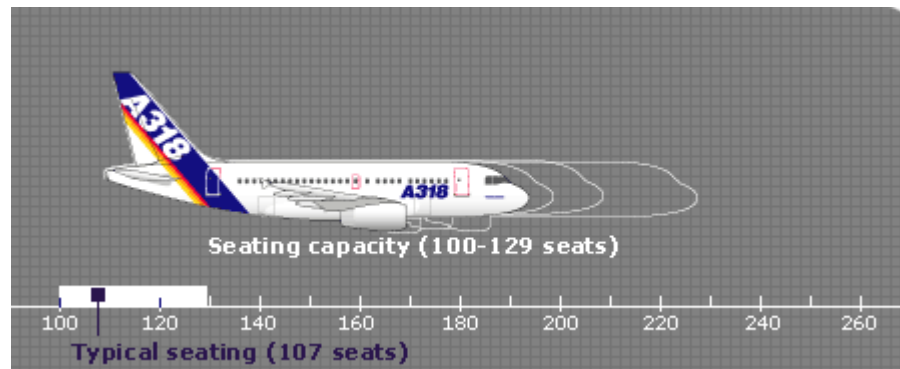
Até o advento dos Embraer 170/190, esta era a única família de aeronaves de transporte aéreo regional, de corredor único, projetada desde a década de 1960. As aeronaves da Família A320 estabeleceram os padrões conforto de cabine, em tecnologia e em eficiência por mais de dez anos. As inovações tecnológicas incorporadas na Família A320 trouxeram melhor performance e confiabilidade, com redução do consumo de combustível e manutenção facilitada. Seguem as características principais das aeronaves desta família:

Comportando até 107 passageiros, em uma típica configuração de duas classes de *layout* de cabine de passageiros, o A318 transporta-os com um alcance de mais de 6.000km, propulsionado por motores CFM56-5 ou PW6000.

O A319, propulsionado por motores CFM56-5 ou IAE V2500, transporta 124 passageiros, em um *layout* típico de assentos em duas classes, com um alcance de mais de 6.800km. Em sua versão de Transporte Corporativo (*Corporate Jetliner*), o A319 alia um interior bastante luxuoso para executivos com um alcance de até 11.670km.

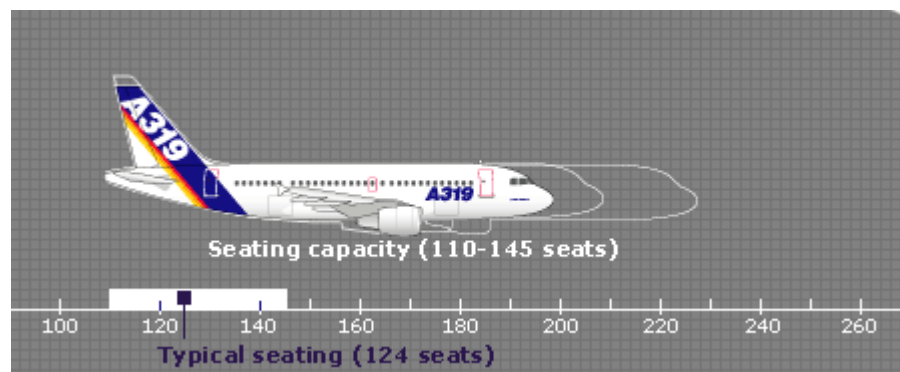
O A320 acomoda 150 passageiros em um *layout* típico de cabine em duas classes, tendo cerca de 5.550km de alcance. Ele pode ser propulsionado por motores CFM56-5 ou IAE V2500.

O A321, maior membro da Família A320, acomoda 185 passageiros em uma configuração de duas classes, transportando-os por um alcance de até 5.550km, ou até 220 passageiros em uma configuração de alta-densidade. O A321 pode ser propulsionado por motores CFM56-5 ou IAE V2500.



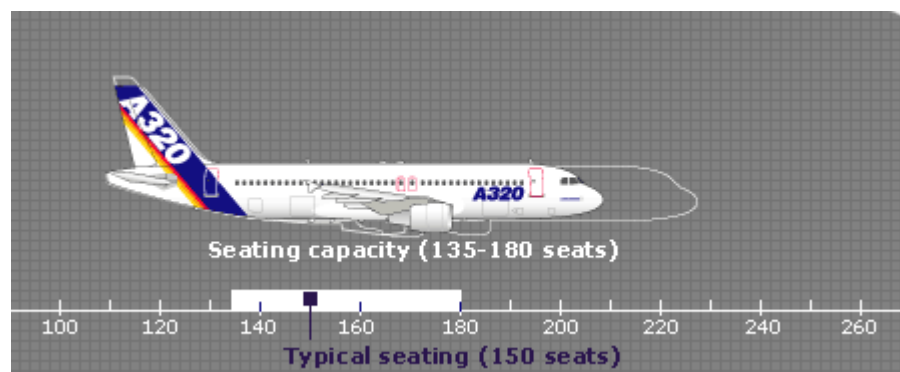
Fonte: Airbus

Figura 43 - Quantidade típica de assentos para a Família Airbus A320 – o A318



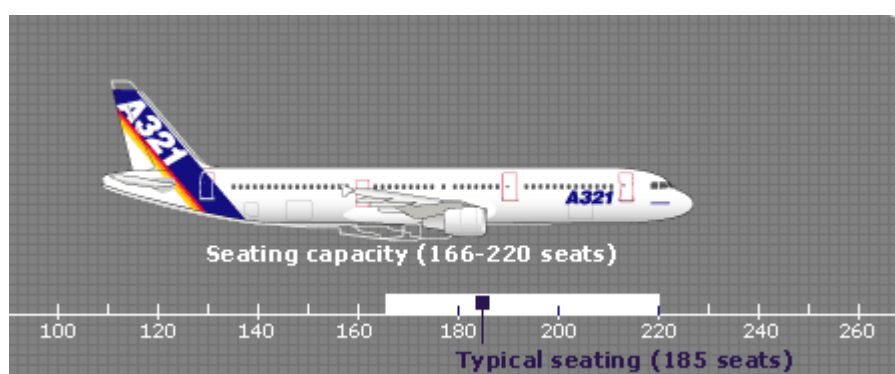
Fonte: Airbus

Figura 44 - Quantidade típica de assentos para a Família Airbus A320 – o A319



Fonte: Airbus

Figura 45 - Quantidade típica de assentos para a Família Airbus A320 – o A320



Fonte: Airbus

Figura 46 - Quantidade típica de assentos para a Família Airbus A320 – o A321

As companhias de transporte aéreo conseguem uma opção de escolha maior com as famílias de aeronaves, otimizando a relação entre seu *mix* de frota com as variedades de rotas e estruturas de tráfego aéreo. Elas podem trocar de aeronaves entre rotas e mercados, de acordo com as mudanças nas tendências de viagens e sazonalidades, comportando até mesmo as variações nos tráfegos diários. E podem ter tudo isto contando com o mesmo nível de conforto e atendendo às mesmas especificações de desempenho. É justamente devido a estes fatores tão positivos que a maximização dos benefícios das famílias de aeronaves tem sido o principal objetivo do projeto de famílias de aeronaves de transporte.

Todas as aeronaves da Família A320 compartilham das vantagens para os clientes. Todas têm a mesma seção transversal otimizada, de corredor único. Os interiores das cabines de passageiros provêm níveis de conforto já consagrados, com configurações para assentos largos/corredor padrão ou assentos padrão/corredor mais largo. Os A319, A320 e A321 oferecem espaço suficiente em seus compartimentos inferiores de bagagem que permitem a acomodação de *containers* LD3-46W. Mais uma grande vantagem, tanto para as companhias quanto para os pilotos, é que a mesma habilitação (equivalente ao termo *Type Rating*) se aplica para todos os quatro modelos de aeronaves. Também os mesmos engenheiros e mecânicos podem manter todos os quatro modelos.

Além destas vantagens, a Família A320 também oferece um benefício ímpar em sua comunalidade de operações de voo com a Família A330/A340 de aeronaves de fuselagem mais larga (*widebody*). Este atributo leva a uma significativa redução de custos em termos de treinamento de tripulações, bem como a uma flexibilidade maior na programação mista de operações de vôos de longa duração com vôos mais curtos, tipicamente regionais.

5.2.4 Inovações Tecnológicas na Airbus

A aeronave A318, de 107 assentos, o mais novo e o menor membro da família Airbus de aeronaves de corredor único, foi certificada em 23 de maio de 2003 pela *European Joint Aviation Authorities (JAA)* e em junho de 2003 pela *U.S. Federal Aviation Administration (FAA)*. Esta aprovação cobre a versão do regional propulsada pelo motor CFM56-B, fabricado pela empresa *CFM International (CFMI)*.

Como um derivativo do A319, o modelo A318 difere de seus irmãos pelo comprimento da fuselagem, menor em 2,4m, e um conjunto estabilizador vertical e leme um pouco mais alto. Esta é a primeira aeronave da Família A320 a se beneficiar da instalação de vários sistemas modernizados, que irão melhorar a confiabilidade global, reduzindo a manutenção e o custo inicial de provisionamento. Dentre estes novos sistemas, a nova geração de *CIDS (Cabin Intercommunication Data System – Sistema de Intercomunicação de Dados de Cabine)* oferece uma flexibilidade aprimorada, para acomodar as opiniões dos clientes.

As seções da fuselagem do A318 são as primeiras a incorporar painéis de revestimento (*skins*) soldados a laser, fabricados nas plantas de Saint-Nazaire (França) e Nordenham (Alemanha). Comparada com a rebiteagem automática, a solda a laser proporciona ganhos em tempo, peso e em custos de manufatura, sendo também considerada como recurso para a obtenção de uma estrutura menos sensível em todos os aspectos, incluindo a corrosão.

Está prevista a incorporação deste processo de solda a laser também no processo de fabricação das seções da fuselagem do A380, onde a Airbus espera obter ganhos de peso e de tempo muito mais expressivos, dadas as grandes dimensões e a complexidade das formas envolvidas neste produto.

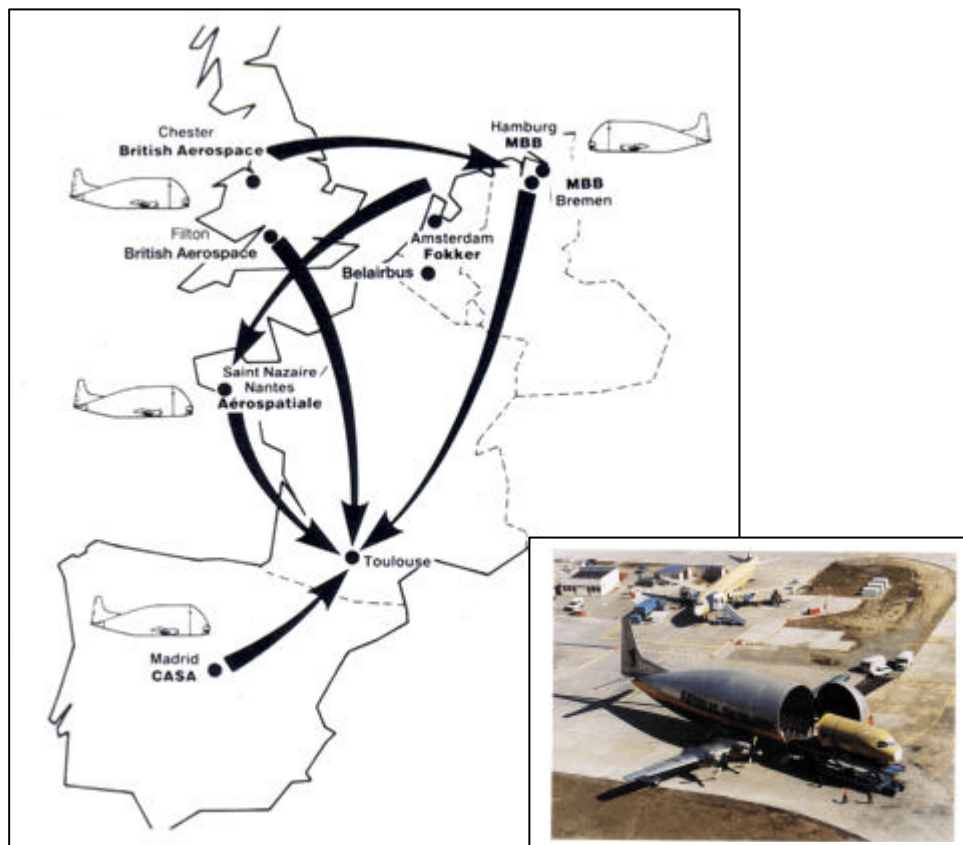
5.2.5 Logística e Manufatura

A Divisão de Manufatura da Airbus (*Airbus Manufacturing*) gerencia a produção das aeronaves Airbus nos diferentes sites localizados na Europa.

Constituindo-se em um processo transnacional, a manufatura estruturou-se em torno de unidades-chave de fabricação e montagem, cada qual sendo responsável pela produção de uma seção completa da aeronave, que, por sua vez, será entregue às linhas de montagem final.

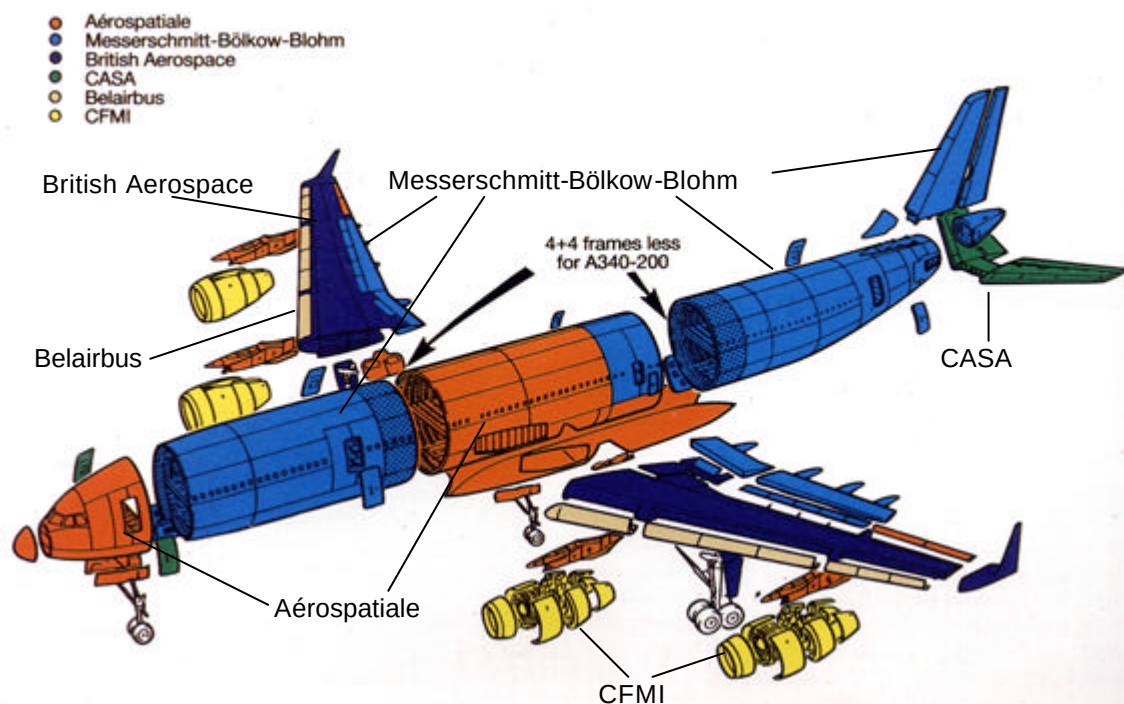
A Figura 47, localizada na próxima página, e gentilmente cedida para este trabalho pela própria Airbus, ilustra esquematicamente todo o ciclo de transporte aéreo das principais seções que compõem uma aeronave A340, a qual, objetivando facilitar a visualização de suas diversas seções, encontra-se também ilustrada à página seguinte, na Figura 48.

Analisando-se esta última figura se pode verificar que a divisão de trabalho entre as empresas que compõem o Consórcio Airbus é realizada de modo a permitir que todas tenham uma participação significativa no projeto e na montagem das aeronaves, sendo também digno de nota o fato de que a atribuição da parceria no desenvolvimento e na manufatura da empenagem horizontal à empresa espanhola CASA segue uma tendência mundial que visa aproveitar a alta especialização neste segmento (atuando em pacotes de parceria que podem envolver tanto a empenagem completa quanto partes ou seções das empenagens horizontal e/ou vertical).



Fonte: Airbus

Figura 47 - Logística externa - Ciclo de transporte aéreo das seções de um A340



Fonte: Airbus

Figura 48 - Parcerias - Divisão em seções de uma aeronave A340-300

Fundamentando o processo logístico da Airbus, seções totalmente equipadas das aeronaves são aerotransportadas pela aeronave, especialmente projetada e construída, Airbus Super Transporter A300-600ST “Beluga”, ilustrada na Figura 49 abaixo – que conta com a maior capacidade volumétrica de transporte de carga em todo o mundo – para as linhas de montagem final. Os A320, A300/A310 e A330/A340 são montados em Toulouse, na França, assim como está sendo o A380, enquanto que os A318, A319 e A321 são montados em Hamburgo, na Alemanha.



Fonte: Airbus

Figura 49 - Carregamento de uma seção de fuselagem de um A318 em um A300-600ST

Esta mesma organização industrial será aplicada à produção do A380. Entretanto, devido ao seu tamanho sem precedentes, seções completas da aeronave serão entregues em Toulouse, por transporte de superfície (marítimo e rodoviário), para montagem estrutural, equipagem final (incluindo a instalação dos motores) e vôos de teste de produção. Depois disso a aeronave voará para Hamburgo, para instalação dos sistemas e do mobiliário do interior, ao que se seguirão a customização, a pintura final e a entrega ao cliente.

Em todas as informações provenientes da Airbus ressalta-se a ênfase dedicada à precisão e eficiência do gerenciamento do setor logístico externo da organização como um todo. A inevitável ocorrência de uma grande distância percorrida pela maioria dos conjuntos e subconjuntos necessários para a montagem final das aeronaves Airbus, faz com que a organização possa ser seriamente penalizada em qualquer análise *Lean* “purista” referente ao desperdício caracterizado na “jornada de peças”. Entretanto, segundo a própria Airbus, dada a multinacionalidade característica desta empresa européia, buscou-se a otimização máxima dos processos envolvidos na montagem final, incluídos aqui aqueles referentes à gestão do recebimento de segmentos e da correspondente logística interna, uma vez que a maior concentração das diversas unidades fabris em uma área geograficamente mais próxima da montagem final – estabelecendo-se um *cluster* ou pólo industrial – não contemplaria os acordos de estímulo das operações industriais nos diferentes países onde se localizam as referidas plantas. Foi justamente durante a análise dos fluxos produtivos e dos *lead times* envolvidos em todo o processo de manufatura das aeronaves, etapa preliminar e fundamental na otimização dos processos logísticos, que foi constatada uma séria restrição, um “gargalo” de grandes proporções, que poderia levar a empresa a ter sua competitividade bastante prejudicada: o baixo rendimento da subsidiária responsável pela fabricação e montagem das asas para todas as aeronaves das linhas da Airbus – a Airbus UK.

5.2.6 Iniciativa *Lean* na Airbus

Para a Airbus UK, subsidiária da Airbus localizada na Inglaterra, com unidades fabris nas cidades de Broughton e Filton, encarregadas da fabricação das asas e dos sistemas de combustível para toda a gama de produtos da empresa, a resposta às prementes questões que surgiram no mercado aeronáutico durante as crises dos anos 2000 e 2001 tem sido um maciço movimento rumo à Manufatura Enxuta (*Lean*

Manufacturing). De acordo com o engenheiro John Gillbanks, chefe da manufatura de aeronaves de corredor único (*single aisle*) na Airbus UK, o movimento foi inspirado pelo reconhecimento de que as técnicas *lean*, desenvolvidas na indústria automotiva (onde são conhecidas pelos fundamentos de seu principal veículo, o Sistema Toyota de Produção), tinham o potencial para operar as medidas econômicas urgentemente necessárias no setor aeroespacial, e que, aliando-as ao recrutamento de alguns ex-executivos das principais automotivas que pudessem trazer consigo as ferramentas e o conhecimento efetivo, poderia se adquirir a capacidade de se realizar a transformação *lean* nesta empresa.

A maior parte das atividades de montagem das asas de suas aeronaves ocorre na planta da Airbus localizada em Broughton, North Wales, Inglaterra, próximo à fronteira com Chester. Vinte e cinco por cento dos componentes das asas são fabricados nesta planta, com o restante sendo trazido de fornecedores. A operação de montagem das asas divide-se em três fases principais:

1) Na Fase Um, os componentes feitos em ligas de alumínio são usinados, submetidos a tratamentos térmicos e passam por jateamento de partículas metálicas (*shotpeening*);

2) Na Fase Dois é criada a estrutura básica do *wing box*, ou caixão central, sendo os revestimentos (*skins*), as longarinas (*spars*), as nervuras (*ribs*) e os perfis reforçadores (*stringers*) devidamente posicionados nos gabaritos de montagem, aparafusados entre si e submetidos a pintura;

3) Na Fase Três o caixão central é equipado com as superfícies móveis e com as partes dos sistemas elétrico, hidráulico e de combustível que operam instaladas nas asas. Depois disso, as asas, como conjuntos completos, são testadas e transportadas para uma das plantas de montagem final da Airbus, localizadas na França e na Alemanha.

A Airbus UK investiu pesadamente na primeira e segunda fases do seu processo de fabricação das asas, com a modernização das grandes fresadoras utilizadas na usinagem dos revestimentos das asas e das longarinas e com a introdução das máquinas automáticas de rebiteagem (as rebiteadeiras automáticas) para a junção dos revestimentos das asas. A Airbus UK também inaugurou uma nova instalação de equipagem das asas para as suas aeronaves de maior porte, de dois corredores - os A300, A310 e A340. Então o estágio de equipagem das asas das aeronaves de corredor único, as regionais, seria o próximo passo lógico neste processo de melhoria, e esta área ofereceu aos engenheiros de produção da Airbus a oportunidade de experimentar algo radical em termos de manufatura aeronáutica.

As aeronaves de curto e médio alcance, de corredor único – os A318, A319, A320 e A321 – são tanto as mais acessíveis (custando entre 40 e 60 milhões de dólares cada) quanto as mais populares das aeronaves fabricadas pela Airbus, e, conseqüentemente, os volumes de produção em Broughton são proporcionalmente maiores que aqueles para os outros modelos. Com os planos avançando para a produção das asas do A380, a Airbus queria uma dramática mudança em eficiência, liberando da linha de equipagem das asas cerca de 28% dos trabalhadores mais experientes para trabalhar em seus novos programas.

"Nós estudamos os processos de equipagem e concluímos que tínhamos duas grandes fontes de desperdício repetitivo," disse Gillbanks. "Primeiramente estávamos movimentando excessivamente as asas de um lugar para outro (**desperdício de transporte**). Mapeamos o processo de montagem e descobrimos que tínhamos até 14km de deslocamentos envolvidos na obtenção das asas montadas! Em segundo lugar, os trabalhadores estavam dedicando muito tempo procurando por peças e ferramentas (**desperdício de movimentação**) que eram necessárias para a próxima fase do trabalho." O problema originava-se da maneira com que a linha havia sido organizada, com times de trabalho movendo-se de asa para asa para instalar peças e

subsistemas. Isto significava que eles tinham que realocar ferramentas e suprimentos cada vez que iniciassem a equipagem de uma nova asa, criando atrasos e desperdícios. O estudo da linha levou a Airbus UK a projetar uma solução de montagem que fosse muito mais semelhante ao já era visto na produção automotiva do que qualquer coisa já tentada, até o momento, em qualquer indústria aeronáutica. Eles propuseram a instalação de uma linha de fluxo mecanizado, que moveria as asas automaticamente, entre as estações de trabalho, estáticas, enquanto os montadores permaneceriam em seus lugares, com todos os componentes e as ferramentas necessárias posicionados ao seu alcance.

Desenhos, modelos em escala e simulações em computadores convenceram os engenheiros que a solução poderia funcionar, mas dois grandes obstáculos teriam que ser transpostos antes que a visão pudesse ser implementada. O primeiro grande desafio era assegurar que a força de trabalho da linha de produção estivesse totalmente integrada no suporte ao projeto. Segundo Peter Widdowson, gerente de mudança para *lean* (*lean change manager*) na Airbus: "Não se obtém melhorias de produtividade somente instalando uma linha de montagem em fluxo. Elas são obtidas por meio de mudanças no modo como as pessoas trabalham. É a mentalidade da força de trabalho que dá à empresa a sua eficiência. A nova linha realmente funciona como um símbolo de uma completa mudança na filosofia de manufatura da Airbus." O ceticismo inicial entre os operários da planta de Broughton era considerável. Orgulhando-se de si próprios por terem um nível alto e diversificado de habilidades, muitos temeram que a introdução de processos de montagem ao estilo automotivo pudesse levar à desqualificação de suas atividades. No final, disse Gillbanks, eles foram convencidos de que ocorria justamente o inverso. "Existem 14 estações na nova linha, e a demanda atual dos clientes significa que as asas se moverão de estação para estação uma vez a cada 14 horas. Nós tentamos treinar nossos funcionários de modo que eles tenham as habilidades para trabalhar, no mínimo, em duas estações

diferentes, então isto significa que cada um tem que ser treinado em 28 horas de trabalho válido (que acrescente valor ao produto). Quando se compara este tempo com o *cycle time* de dois minutos, presente em uma típica planta automotiva, percebe-se que existe uma parcela muito maior de interesse e variedade agregada às tarefas, ao trabalho.”

O suporte dos trabalhadores foi posteriormente aumentado por meio de reuniões regulares de comunicação, em um processo especialmente elaborado para mantê-los informados do progresso dos projetos. Estas reuniões, que envolveram todos os trabalhadores das linhas, foram suplementadas com a execução de consultas menores sobre o *design* detalhado das estações individuais de trabalho, permitindo que os trabalhadores fornecessem opiniões completas sobre o modo com que as suas novas estações de trabalho deveriam ser operacionalizadas (*setup*).

O segundo grande desafio para a Airbus UK foi a mudança do seu sistema original de produção para o novo sistema de linha móvel. A nova linha foi instalada no mesmo local da antiga, em substituição à mesma, e as restrições da produção significavam que a capacidade total de *output* (*full output*) tinha que continuar diretamente através do processo de implantação da nova linha. “Este foi um desafio logístico realmente grande,” disse Widdowson. “Particularmente nas duas últimas semanas que antecederam a mudança. Penso que ficamos todos realmente surpresos com a facilidade com que a transição ocorreu.” A nova linha de montagem em fluxo está operacional desde o final de fevereiro de 2003, exatamente um ano depois de terem se iniciado as discussões sobre a melhor maneira de se aperfeiçoar a linha. As asas e seus componentes agora viajam, internamente, menos de 150m, ao invés dos 14km originais, e o custo total de montagem foi reduzido em 12%. Os problemas de qualidade – ou “concessões” na linguagem da Airbus – foram reduzidos em 43% e, da mesma maneira, a adesão ao cronograma de entregas também está perfeita. Como todas as boas implementações da Filosofia de Manufatura Enxuta, no entanto, a

Airbus vê estes resultados como sendo apenas o princípio da mudança. "Agora as pessoas estão acostumadas a trabalhar com as suas novas estruturas de times e pacotes de trabalho (*work packages*); isto é a abertura do segundo parágrafo," diz Gillbanks. "Nós estamos agora estudando em detalhes como otimizar as estações de trabalho, aumentando a qualidade, e tirando ainda mais desperdícios para fora do sistema." As lições aprendidas serão também estendidas para outras partes da organização Airbus. Widdowson já tem realizado apresentações sobre o esquema da linha de montagem em fluxo para a gerência da Airbus França e da Airbus Alemanha, e a Airbus UK planeja usar uma abordagem similar para a fabricação das asas dos A380.



Fonte: Airbus UK

Figura 50 - Montagem das Asas em Linha Móvel – Planta de Broughton



5.3 BOEING

5.3.1 Origens

A Boeing Company foi fundada nos Estados Unidos por William Edward Boeing, em 1917, durante a Primeira Guerra Mundial. Sendo caracterizada mundialmente por seu mais famoso projeto, o Jumbo 747, a Boeing comenta que, tendo sua origem a partir de uma aposta entre a Boeing e a Pan-Am, o 747 obrigou à construção do maior complexo industrial da história (a planta de Everett, em Seattle - Washington) e a um esforço financeiro que quase provocou a insolvência da empresa. Contudo, as inovações que introduziu e a inexistência de concorrência no segmento conferiram à Boeing um trunfo que lhe permitiu ser hoje a grande representante da indústria aeronáutica americana. Hoje considerado o maior e mais importante centro da indústria aeronáutica mundial, o grupo Boeing engloba a extinta McDonnell Douglas, que foi fundada numa associação de Donald Wills Douglas (da Douglas Aircraft Company) e de James Smith McDonnell (McDonnell Aircraft - St. Louis) em 1939 e a North American Rockwell - fundada em 1934 por Dutch Kindelberger - North American Aviation, à época, incorporadas respectivamente em 1996 e 1997. A Boeing é referência mundial em aviação comercial, contando com 235.000 empregados, distribuídos em noventa países e 27 instalações nos EUA, para atender a seus clientes em 145 países diferentes.

5.3.2 Fabricação e Montagem de Aeronaves nos Dias Atuais

A Boeing é hoje um dos dois maiores fabricantes de aeronaves comerciais do mundo, dividindo com a Airbus este mercado de duopólio. A Boeing, com suas maiores instalações fabris localizadas em Seattle, Washington, moveu sua sede corporativa para Chicago, em 2001. Em suas fábricas americanas é produzida uma vasta gama de aeronaves comerciais a jato, do 737 até os 757, 767, 777, e o 747. A

maior região em termos de vendas mundiais da Boeing, e a que tem experimentado o crescimento mais rápido, é a Ásia. Um dos produtos mais novos na frota é o Boeing 777 que, no entanto, entrou em produção comercial em maio de 1995. A utilização dos princípios da Filosofia de Manufatura Enxuta na Boeing teve sua maior aplicação, até o momento, no desenvolvimento e na montagem dos 777, sendo a experiência complementada com a iniciativa de reorientação da montagem final das aeronaves para o princípio de linhas móveis, originalmente testado e aprovado na planta da *Boeing Long Beach Division* (antiga McDonnell Douglas), localizada na Califórnia.

5.3.2.1 Projeto e Desenvolvimento na Boeing

No projeto e desenvolvimento do Boeing 777 a Boeing Company adotou um programa intensivo de projeto assistido por computador (CAD), desenvolvido e produzido pela companhia francesa Dassault. Denominado CATIA e vendido pela IBM nos Estados Unidos, sob licença, este sistema permitiu à Boeing diminuir os estágios de desenvolvimento de produto e de projeto e implementação dos processos de fabricação, bem como reduzir sensivelmente os custos relativos à estas duas etapas.

5.3.2.2 Estruturas

A maior parte das estruturas da fuselagem do Boeing 777, assim como os flapes das asas, é fabricada por empresas subcontratadas japonesas. As maiores subcontratadas, neste caso, são a *Mitsubishi Heavy Industries*, em sua unidade de Nagoya (denominada *Aerospace Works*), a *Kawasaki Heavy Industries* e a *Fuji Heavy Industries*. Este processo de subcontratação da manufatura de grandes segmentos estruturais tem se tornado uma constante no sistema renovado de fabricação e montagem da Boeing, agilizando a disponibilização do produto final ao cliente e permitindo à empresa concentra-se em atividades onde ela julga poder, efetivamente, agregar maior valor ao produto pela sua grande experiência de integradora e

“montadora”: agilizar o processo pela redução do *cycle time* de montagem final e garantir que a qualidade especificada para os dois pontos mais críticos da manufatura aeronáutica, a geração/comunicação das especificações iniciais e a montagem final da própria aeronave, origine os parâmetros de qualidade e produtividade que orientem todo trabalho na cadeia de fornecimento intermediário.

5.3.2.3 Motores Aeronáuticos

Uma característica interessante deste segmento é que os motores para as aeronaves Boeing e Airbus, apesar de provenientes das mesmas opções de empresas, são desenvolvidos e produzidos por entidades corporativas separadas. Os compradores de aeronaves Boeing podem selecionar seus motores da Pratt & Whitney, General Electric, ou Rolls-Royce.

5.3.2.4 Aviônicos

Os controles da cabine de pilotagem, os sistemas *fly by wire*, e os sistemas de posicionamento global (GPS - *Global Positioning System*), tanto para a Boeing quanto para a Airbus, são desenvolvidos e fabricados por companhias como as norte-americanas Rockwell e Honeywell, originados a partir de um modelo básico e posteriormente customizados, em suas versões específicas para cada fabricante.

5.3.2.5 Sindicatos de Trabalhadores

Uma significativa parcela da força de trabalho da Boeing nos EUA é sindicalizada. A Associação Internacional de Maquinistas e Trabalhadores nas Indústrias Aeroespaciais (*IAMAW - International Association of Machinists and Aerospace Workers*) representa 31% dos empregados da Boeing, sendo a maioria dedicada às ocupações de montagem (operários manuais, operadores de máquinas, inspetores e demais ocupações classificadas como de “colarinho-azul”, ou *blue-*

collars). A entidade que representa os engenheiros, a Associação Profissional dos Empregados Engenheiros de Seattle (SPEEA - *Seattle Professional Engineering Employees Association*), conta com cerca de 16% da força de trabalho da Boeing.

5.3.2.6 Companhias Aéreas

Uma das grandes inovações no sistema de produção enxuta (*lean manufacturing*) desenvolvido pela Boeing foi a integração das companhias aéreas no projeto e desenvolvimento do produto, através de mecanismos como os *DBT - Design-Build Teams*, ou Times de Desenvolvimento Integrado do Produto, que contam com engenheiros de projeto e produção da Boeing, pilotos de teste e representantes das companhias aéreas e de fornecedores sub-contratados. As maiores companhias aéreas que participaram nos *DBT* do 777 incluem as seguintes (que também foram aquelas que colocaram os maiores pedidos de diversas versões da aeronave): United Airlines, British Airways, Singapore Airlines e Cathay Pacific.

5.3.3 Principais Plantas Atuais da Boeing

5.3.3.1 Planta de Manufatura dos Boeing 747, 767 e 777

Localizada em Everett, Washington – EUA.

A Boeing Company anunciou em 1966 que iria fabricar a maior aeronave de transporte aéreo de passageiros do mundo - o 747. Isto iria demandar que a Boeing construísse um complexo de manufatura igualmente impressionante. A construção teve início naquele mesmo ano, em uma floresta de 3,13km², localizada a 48km ao norte de Seattle, perto de *Snohomish County's Paine Field* (Paine Field é um aeroporto regional, com uma pista de 227m). A fábrica original foi completada em 1969.

O edifício principal de montagem, reconhecido pelo Livro Guinness dos Recordes Mundiais como o maior edifício do mundo em volume construído, tem sido

ampliado ao longo dos anos para acomodar 13,3 milhões de metros cúbicos de espaço. Sua planta baixa cobre 398.000m². A partir de seu tamanho original, ele foi expandido em mais de 45% em 1980, para acomodar as linhas de montagem dos 767, e em mais outros 50% em 1993, para a montagem dos 777. O próprio site também foi aumentado para aproximadamente 4,05km², incluindo 0,86km² de pátios pavimentados e estacionamentos, e 1,13km² de área construída.

A cada dia, peças e subconjuntos chegam à planta de Everett vindas de todas as partes do globo. Milhares de fornecedores enviam componentes por caminhões, trens, aviões e navios, sendo que grande parte dos subconjuntos de maior porte é recebida no porto de Everett, Washington, sendo então carregados em vagões e plataformas automotrizes que sobem a encosta de gradiente mais íngreme de todos os Estados Unidos, com 5,6% de inclinação. Por dia, até 15 vagões e plataformas automotrizes entregam peças e subconjuntos à planta de Everett.

Apesar destes vagões e plataformas automotrizes poderem ser descarregados diretamente dentro da fábrica, a Boeing adicionou a suas instalações, em 1992, um edifício terminal ferroviário de 279m², especificamente para descarregar containeres de peças que chegam por trens. Um pátio ferroviário adjunto, contendo aproximadamente três quilômetros de trilhos, tem uma plataforma giratória que foi originalmente construída em 1899.

Dentro da fábrica, pontes rolantes cruzam a 27m acima do piso, em uma rede de trilhos de 50km, suportada pelas pilastras de sustentação do teto. Operadores nas pontes rolantes descarregam os subconjuntos de seus dispositivos de transporte e transportam as partes das aeronaves de uma posição de montagem de aeronave para outra. Suportadas por uma frota de mais de cem empilhadeiras, 18 pontes rolantes, cada uma capaz de suspender 34 toneladas, carregam partes dos 747 e 767 ao longo da fábrica. Oito guindastes adicionais, de 40 toneladas de capacidade, são utilizados para a produção dos 777.

Com seis milhões de peças em um 747 e mais de três milhões em cada um dos 767 e 777, não são de menor complexidade os sistemas utilizados para solicitar, acompanhar e distribuir a peça correta ao ponto exato de montagem, no tempo certo. Desenvolver os planejamentos e acompanhá-los de modo a montar com sucesso todas aquelas partes e peças é uma das coisas que os empregados da Boeing orgulham-se de fazer com maestria.

Na programação atual de Everett, as primeiras peças que entram no processo de montagem são as longarinas das asas – vigas internas que percorrem toda, ou quase toda a extensão das asas. As longarinas e os revestimentos das asas, usinadas pela Boeing na planta de Frederickson, localizada em Puyallup, Washington, chegam em um único caminhão-trailer. Elas são tão compridas que este caminhão-trailer tem suas rodas traseiras também dirigidas por um motorista, localizado em uma segunda cabine na parte traseira do veículo. Cerca de quatro meses e meio depois de sua chegada, uma longarina estará em uma aeronave pronta para ser entregue.

A fábrica de Everett pode acomodar duas linhas de produção de 747, uma linha de 767 e duas de 777. As taxas de produção variam de acordo com a demanda do mercado, mas têm atingido picos de sete aeronaves por mês, para os 747 e 777, e cinco por mês para os 767.

Cada vez que a linha de montagem final se move, a aeronave fica mais perto das portas, através das quais a aeronave acabada efetuará o seu *roll out*. Quatro das seis portas do hangar medem 26,5m de altura e 91m de largura, sendo que as outras duas têm altura idêntica, mas 107m de largura.

Em adição à fábrica e aos almoxarifados/estoques, a planta contém nove edifícios de escritórios e dois edifícios que fornecem os painéis “plásticos” de revestimento do interior e os bagageiros/armários para todas as aeronaves de transporte da Boeing. As aeronaves já completadas podem receber pinturas

diferenciadas da empresa compradora em qualquer um dos três hangares de pintura disponíveis no site.

A planta da Boeing em Everett é tão grande que necessita ter seu próprio departamento de combate a incêndios, sua força de segurança, uma clínica médica totalmente equipada, subestações elétricas e uma planta de tratamento de água. A água das chuvas é controlada por meio de um sistema de reservatórios e lagos de armazenamento, sendo que o maior deles pode conter 75 milhões de litros, ou água suficiente para fazer flutuar um transatlântico. A área de abastecimento de aeronaves tem espaço para acomodar cinco aviões, sendo que a área de pré-vôo pode acomodar 26 aeronaves já finalizadas.

O centro de visitas da Boeing Everett, aberto permanentemente ao público, recebe aproximadamente 110.000 pessoas por ano.

5.3.3.2 Planta de Manufatura dos Boeing 737 e 757

Localizada em Renton, Washington – EUA.

Ao longo dos anos, a área de Programas de Aeronaves em Renton se tornou o lar de muitos dos aviões mais famosos da história da aviação comercial, incluindo os 707, 727 e 737. Hoje em dia os empregados de Renton, uma área de 1,34km² que incorpora 715.400m² de espaço construído, produz os modelos Boeing 737 *Next-Generation* e Boeing 757. A família 737 *Next-Generation* – na época o mais novo e avançado jato comercial em sua classe – entrou em serviço em 1998, e é considerada como a disponibilização de uma aeronave em quatro tamanhos. A família inclui o 737-600, de 110 assentos, o 737-700, de 126 assentos, o 737-800, de 162 assentos e o 737-900, de 177 assentos, além do cargueiro conversível 737-700C e do *Boeing Business Jet*. A família do Boeing 757 inclui o 757-200, para 194 passageiros, o 757-300, para 243 passageiros e o 757-200 cargueiro. Cerca de 40% da frota de jatos comerciais do mundo foi produzida em Renton.

A construção para montagem final dos Boeing 737 e 757 cobre uma área de 70.600m². As atividades nos outros prédios principais da planta de Renton incluem a submontagem, a linha de fabricação das asas e o hangar de pintura, sendo que os demais prédios abrigam o pessoal administrativo, a engenharia e os funcionários dedicados ao gerenciamento de materiais e suprimentos.

O Aeroporto de Renton, localizado a oeste do site principal, é utilizado pela Boeing para executar os testes pré-vôo de todos os 737 e 757, antes que eles realizem o primeiro vôo de produção. Depois deste vôo as aeronaves pousam no Campo da Boeing em Seattle, onde os ajustes finais são feitos antes que elas sejam entregues aos clientes.

5.3.3.3 Boeing Divisão Long Beach (antiga planta principal McDonnell Douglas)

A Divisão Long Beach, baseada em Long Beach, Califórnia, é administrativamente subordinada à área comercial da Boeing (a *Boeing Commercial Airplanes*), fabricando atualmente o Boeing 717-200. Fundada por Donald W. Douglas em 1920 e passando por uma fusão em 1967, para tornar-se a McDonnell Douglas Corporation, a Boeing Divisão Long Beach originou-se da fusão entre a Boeing e a McDonnell Douglas, em 1997.

Esta Divisão tem seu foco, atualmente, na fabricação e montagem do Boeing 717, um jato bimotor com capacidade para transportar cem passageiros. Outra aeronave montada na planta de Long Beach é o transporte militar C-17, da Força Aérea Norte Americana, desenvolvido pela Douglas e agora integrando o Programa de Transporte Aéreo e Aeronaves de Reabastecimento da Boeing.

Desde o seu início, nos fundos de uma barbearia de Los Angeles, a Douglas entregou mais de 45.000 aeronaves civis e militares. A extensa linha de modelos da Douglas Commercial (DC) e da McDonnell Douglas (MD) tem uma história de mais de 65 anos de produção contínua de aeronaves comerciais de transporte.

5.3.3.4 Planta de Manufatura Boeing Wichita

Localizada em uma cidade com rica tradição aeronáutica, a Boeing Wichita é o maior negócio de manufatura do estado do Kansas.

Sua área, com operações divididas entre trabalhos civis e militares, abrange aproximadamente 4,5km², ocupando cerca de 1,1km² de instalações cobertas.

5.3.4 A Iniciativa *Lean* na Boeing

A Boeing está efetivamente otimizando a maneira pela qual ela projeta e fabrica as suas aeronaves comerciais graças à aplicação dos princípios, conceitos e técnicas do Sistema de Manufatura Enxuta. O foco primário deste esforço é a contínua eliminação de desperdícios nos processos dos negócios da companhia.

A implementação das práticas *Lean* envolve mudanças na área de trabalho ou nos processos do negócio para maximizar a eficiência, melhorar a qualidade e a segurança, eliminar movimentos e estoques desnecessários, e economizar tempo. A Boeing conta plenamente com as pessoas que realizam as tarefas para implementar as necessárias melhorias, tendo, conseqüentemente, aumentado o moral de seus funcionários.

A opção da Boeing envolveu o desenvolvimento de um plano estratégico para a incorporação da Filosofia de *Lean Manufacturing* que realmente atendesse às necessidades da Corporação como um todo. Tal plano estratégico estipulava a adoção, em todas as linhas de montagem da empresa, das chamadas Nove Táticas para a Implementação da Manufatura Enxuta na Boeing, as quais, mostradas abaixo, devem ser necessariamente operacionalizadas na sequência apresentada.

1. Mapeamento e Análise do Fluxo de Valor;
2. Balanceamento da Linha;
3. Padronização do Trabalho;
4. Colocação dos Itens de Gestão Visual nos lugares necessários;

5. Disponibilização dos componentes e ferramentas nos pontos de uso;
6. Implantação das linhas de alimentação e de cadeias de suprimentos;
7. Avançar com o reprojeto dos processos ao longo da linha principal;
8. Conversão da linha de montagem principal para uma linha pulsátil; e
9. Conversão final para uma linha móvel, de fluxo contínuo, que tem plena capacidade para também operar com fluxo unitário.

A diretoria de Aeronaves Comerciais iniciou formalmente a implementação das práticas *Lean* em 1993, apesar de estar centrando seus esforços em vários dos princípios *Lean*, tais como o *Just-in-Time* e o TQM (*Total Quality Management*), desde o final da década de 1980.

Para a Boeing, a implementação dos princípios *Lean* sempre tem início com uma avaliação. Representantes de cada função da área de trabalho realizam um diagnóstico, avaliando a situação presente do seu negócio e sua performance. Uma vez que esta avaliação esteja completa, o time desenvolve um plano de implementação que faça uso das ferramentas e técnicas *Lean*, para simplificar e aperfeiçoar os processos do negócio. O procedimento de conclusão do plano assegura que os empregados tenham realizado uma melhoria passo-a-passo na eficiência e nos custos do processo.

Uma parte integral da implementação é a Oficina de Melhoramento Acelerado (*AIW - Accelerated Improvement Workshop*), uma atividade de duração de uma semana, que permite que os empregados participantes implementem os princípios *Lean* em seu local de trabalho. Este *workshop* combina treinamento, planejamento e implementação para realizar melhorias rápidas. Durante o *workshop* os gerentes delegam autoridade para que seus empregados introduzam modificações significativas nos procedimentos e regras operacionais, nos equipamentos e no fluxo do trabalho.

Segundo a Boeing, desde o início dos *workshops* em 1993, as reduções em *cycle time*, incidência de defeitos e outras medidas de desempenho têm chegado a até 86% nas áreas individuais de trabalho.

Fred Mitchell, vice-presidente executivo de Operações e Utilização de Ativos para as Aeronaves Comerciais, lidera as iniciativas *Lean*. Os empregados do Escritório Central de *Lean Enterprise* trabalham junto aos times locais de implementação para planejar e implantar as técnicas *Lean* por toda a Boeing. Segundo Mitchell, a implementação bem sucedida das práticas *Lean* tem decisivamente contribuído para aumentar a eficiência operacional da Boeing, permitindo à organização entregar maior valor a seus clientes.

5.3.4.1 A Origem da Revolução: Uma Linha Reta para Cortar o Tempo de Montagem

Este relatório de campo explica como a Boeing de Long Beach adaptou os princípios de *lean manufacturing* para renovar (tornar mais eficiente) um processo completo de montagem final, do início ao fim. Os planos da companhia de fabricar os 717 em uma linha de montagem continuamente móvel parecem ter revolucionado o modo pelo qual as aeronaves são fabricadas.

A Boeing está utilizando os processos de *lean manufacturing* para reduzir drasticamente o tempo de fabricação das suas aeronaves 717. A nova linha móvel de montagem, em Long Beach, CA, transformou o modo de construir outras aeronaves. Fusões corporativas, competição global, margem de lucro extremamente pequena. Todos estes termos se afiguram bastante familiares. Além disso, tente-se montar um produto complexo, com mais de 300.000 peças, em um ambiente povoado com estes tipos de restrições. Este foi o desafio que os engenheiros da Boeing Divisão Long Beach (antiga McDonnell Douglas) enfrentaram a aproximadamente três anos atrás. A solução foi parar de usar antigos métodos de produção, repensar totalmente os processos de montagem e desenvolver uma nova mentalidade. Ao adotar os princípios

de *lean manufacturing* e desenvolver uma linha de montagem radicalmente nova, o time multi-funcional tem sido capaz de alavancar a eficiência e melhorar o rendimento na produção da aeronave de transporte regional de cem passageiros.

O Boeing 717-200 é uma aeronave de 35 milhões de dólares, projetada para o mercado *short-haul*, o qual é caracterizado por viagens de curto alcance e alta frequência, de cerca de 500km de distância. O jato biturbina de 38m de comprimento compete em um mercado extremamente sensível ao preço, devido, em grande parte, às relativamente pequenas margens de lucro para os pequenos transportes comerciais e aos subsídios patrocinados pelos governos estrangeiros.

O maior competidor da Boeing, a européia Airbus, fabrica uma aeronave rival, chamada de A318, que é, apesar de tudo, uma aeronave de médio alcance, sendo também mais pesada que o 717. Outros fabricantes de aeronaves regionais, como a Bombardier (de Montreal, Canadá) e a Embraer (de São José dos Campos, Brasil), estão em uma intensa competição pelo crescente mercado de jatos regionais.

A Boeing herdou o projeto do 717 em 1997, quando adquiriu sua arquirrival McDonnell Douglas, que havia originalmente lançado a aeronave como MD-95, o sucessor do popular DC-9. Em um curto espaço de tempo após a fusão das duas empresas a aeronave foi rebatizada como Boeing 717, tendo o primeiro modelo de produção voado em 24 de fevereiro de 1999.

“No desenvolvimento da nova aeronave foram combinadas as melhores características dos confiáveis jatos bimotores Douglas com a nova tecnologia Boeing – mas somente onde isso gerasse maior confiabilidade e menores custos operacionais,” disse Jim Phillips, vice-presidente para o programa 717. Por exemplo, os pesos básicos de decolagem e pouso foram diminuídos para melhorar a economia operacional e a flexibilidade para as companhias aéreas.

Dois motores Rolls-Royce BR715 de alta taxa de diluição (*high-bypass-ratio*) acionam o 717. Com um alcance de mais de 2.500km, a aeronave pode praticamente voar um dia inteiro, com um mínimo tempo de reabastecimento.

5.3.4.2 Demanda de Mercado

De acordo com Phillips, o mercado de linhas aéreas de curto alcance demanda aeronaves com baixos custos operacionais e alta confiabilidade de despacho. Por exemplo, o cliente típico solicitaria que cada aeronave encomendada possa realizar de oito a doze vôos por dia. “O custo por viagem extremamente baixo do 717 permite que os operadores possam explorar novos mercados, com riscos bem mais baixos”, adicionou Phillips.

Conforme a Boeing, numerosos atributos tornam o 717 atraente para as companhias aéreas, tais como a tecnologia avançada de aviônicos, o baixo nível de ruído e emissões, os baixos custos de manutenção e a economia significativa em combustível. Um atributo chave da aeronave é a sua eficiência em aeroportos. O 717 é projetado para uma rápida frequência de utilização, operando sem passarelas telescópicas para os passageiros (*jetways*) ou equipamentos de suporte em terra. Por exemplo, suas portas do compartimento de carga e as estações de reabastecimento podem ser facilmente acessadas, sem escadas ou plataformas de serviço.

Dentre as companhias aéreas com grandes frotas de Boeing 717 estão a AirTran Airways e a TransWorld Airlines (uma subsidiária da American Airlines). A Midwest Express, além de ter começado a receber suas 25 aeronaves 717-200 ainda em 2003, tem planejada a eventual aquisição de aeronaves 717-300, para cerca de 130 passageiros, cujo lançamento ainda não foi confirmado pela Boeing.

Phillips declara que o 717 está posicionado no coração do mercado regional para 90 a 110 assentos, o qual tem uma projeção de necessitar de 3.000 aeronaves durante os próximos 20 anos (de acordo com as estimativas da Boeing). Os fatores que contribuem para esta projeção de demanda incluem companhias de transporte

aéreo e de *leasing* que estarão substituindo e expandindo as suas frotas, regulamentos ambientais mais restritivos e a preferência dos passageiros pelo serviço de jatos de alta-frequência, especialmente em mercados servidos por aeronaves turboélices mais lentas.

O 717 é uma das aeronaves de maior quantidade de partes e peças recebidas de fornecedores estrangeiros da frota da Boeing. As seções maiores da aeronave são fabricadas em vários locais do mundo e enviadas para a montagem final em Long Beach. Como exemplo, a fuselagem é fabricada pela Alenia (Roma, Itália), as asas são fabricadas no Canadá, pela Boeing Ltd., localizada em Toronto, o trem de pouso é produzido pela Israel Aircraft Industries (Tel Aviv), os motores vêm da Rolls-Royce GmbH (Dahlewitz, Alemanha) e as empenagens são fabricadas pela AIDC - Aerospace Industrial Development Corp. (Taichung, Taiwan).

Outras partes da aeronave são fabricadas localmente, como os aviônicos, pela AlliedSignal, de Torrance, Califórnia e as naceles dos motores, pela Goodrich Corp. (San Diego). Dentre as principais vantagens de se ter uma cadeia de suprimentos global incluem-se a maior capacidade de se diluir o risco financeiro e a ampliação do acesso ao mercado estrangeiro.

A montagem final do 717 ocorre no famoso Edifício 80 (*Building 80*) na Divisão Long Beach da Boeing. O edifício de 56.000m² foi construído em 1957 para fabricar os jatos DC-8, tendo sido a primeira planta totalmente climatizada (ar-condicionado) nos Estados Unidos. Esta fábrica é famosa pelo enorme luminoso “*Fly DC Jets*” em seu telhado, que ilumina os céus à noite. Dentre outras aeronaves que também foram montadas nesta planta incluem-se o DC-9, o MD-80 e o MD-90.

5.3.4.3 A Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*)

Os empregados da Boeing passaram dois anos trabalhando com consultores japoneses da Shingijutsu Co. para aprender sobre *lean manufacturing*. O sistema que eles implementaram em Long Beach é baseado no Sistema Boeing de Produção

(*Boeing Global Production System*), o qual é, por sua vez, derivado do Sistema Toyota de Produção (*TPS – Toyota Production System*).

De acordo com Aaron Kotyluk, chefe da produção em fluxo (*flow production*) e consultor de *lean manufacturing* para a linha móvel do 717, uma ênfase especial foi colocada nas táticas para balancear a linha, padronizar os procedimentos de trabalho, instalar os controles visuais nos locais adequados, disponibilizar as peças e as ferramentas nos pontos de uso e implementar as linhas de alimentação. A adoção bem sucedida de cada uma destas táticas de manufatura enxuta foi um passo crítico rumo ao atingimento da última meta: a conversão para uma linha de montagem continuamente móvel.

Balancear a linha significa, essencialmente, distribuir uniformemente tanto a quantidade quanto a variedade de trabalho ao longo do tempo útil (de trabalho) disponível, evitando a sobrecarga e a subutilização de recursos. Isto elimina os gargalos e os tempos ociosos, traduzindo-se em um *flow time* mais reduzido.

Os procedimentos padronizados de trabalho são a fundação do sistema *lean* de produção na Boeing. “Uma operação padronizada é um processo conhecido, repetitivo, que resulta em um *output* de alta qualidade,” disse Kotyluk. Isto assegura que cada um execute o mesmo trabalho da mesma maneira, da melhor maneira possível. “Ter operacionalizados processos confiáveis e consistentes seguramente ajuda os empregados a eliminar as atividades que não adicionam valor,” comenta Kotyluk.

Controles visuais ajudam os montadores a avaliar, rápida e precisamente, a condição da produção com uma simples visada. Os indicadores de progresso e os de problema ajudam os operários a ver quando a produção está adiantada, atrasada ou dentro do prazo. “Os controles visuais permitem a qualquer um ver, instantaneamente, a performance do grupo, aumentando o senso de propriedade na área,” disse Kotyluk.

O “Ponto de Uso” é uma técnica que assegura que as pessoas tenham exatamente o que elas precisam para executar as suas tarefas – a informação, as peças, as ferramentas e os equipamentos certos – onde e quando elas precisarem deles. De acordo com Kotyluk, ter peças, ferramentas, equipamentos e instruções de trabalho entregues no seu ponto de uso economiza tempo, elimina movimentos desnecessários e espaço desperdiçado, além de assegurar que o tempo empregado nos produtos e processos realmente adicione valor ao produto final.

As linhas de alimentação permitem aos montadores executar tarefas de pré-montagem fora da linha principal de produção. Por exemplo, tradicionalmente, quando as asas vêm para a área de montagem final, os flapes internos e externos são instalados na asa depois da mesma já ter sido unida à fuselagem.

No entanto, uma linha de alimentação de asas permitiria que os flapes fossem montados nas asas antes da chegada à área de montagem final. Quando a linha de alimentação é implementada, as asas chegarão exatamente quando os montadores estiverem prontos para uni-las à fuselagem. “Executar certos processos fora da linha principal de produção significa que existirão menos peças na área principal de montagem, ao mesmo tempo em que se aumenta, na área principal de produção, a disponibilidade de componentes e conjuntos prontos para instalação, favorecendo-se o aumento dos índices da qualidade e a diminuição do lead time para se fabricar um produto,” disse Kotyluk.

A Manufatura Enxuta na Boeing concentra-se em três princípios básicos: produção ritmada pelo tempo *Takt*, fluxo unitário e produção puxada.

A produção ritmada pelo tempo *Takt* descreve a razão de montagem em uma fábrica. Relembrando, *Lean* não significa fazer coisas mais rapidamente; significa fazer coisas no ritmo certo. Essencialmente, a taxa de demanda do cliente estabelece o ritmo, ou o tempo *Takt*. Então, ao invés de simplesmente maximizar o ritmo de

trabalho, a manufatura enxuta estabelece o ritmo na fábrica, assegurando que as necessidades dos clientes sejam atendidas a tempo.

O fluxo unitário, ou fluxo de uma só peça, é o oposto da produção em lotes. Ao invés de fabricar vários produtos e então retê-los em uma fila para o próximo passo no processo, os produtos passam por cada etapa do processo, um de cada vez, sem interrupção. A fabricação de produtos continuamente, um de cada vez, aprimora a qualidade e reduz custos.

A produção puxada é o oposto da empurrada. Ela significa que os produtos são fabricados somente quando o cliente tiver solicitado, ou “puxado”, os mesmos, e não antes. Agindo-se desta maneira se evita fabricar produtos que não são necessários. Depois de se obter um ritmo previsível de produção, um fluxo unitário e uma elevada confiabilidade das máquinas e dos processos produtivos, uma companhia pode operar em um ambiente de produção puxada, permitindo-se montar seus produtos somente quando seus clientes precisarem deles.

“O maior desafio até o momento é mudar de um sistema de produção empurrada para um sistema de produção puxada,” disse Kotyluk. “A produção empurrada é baseada unicamente em cronogramas. A produção puxada é baseada nas necessidades dos clientes”.

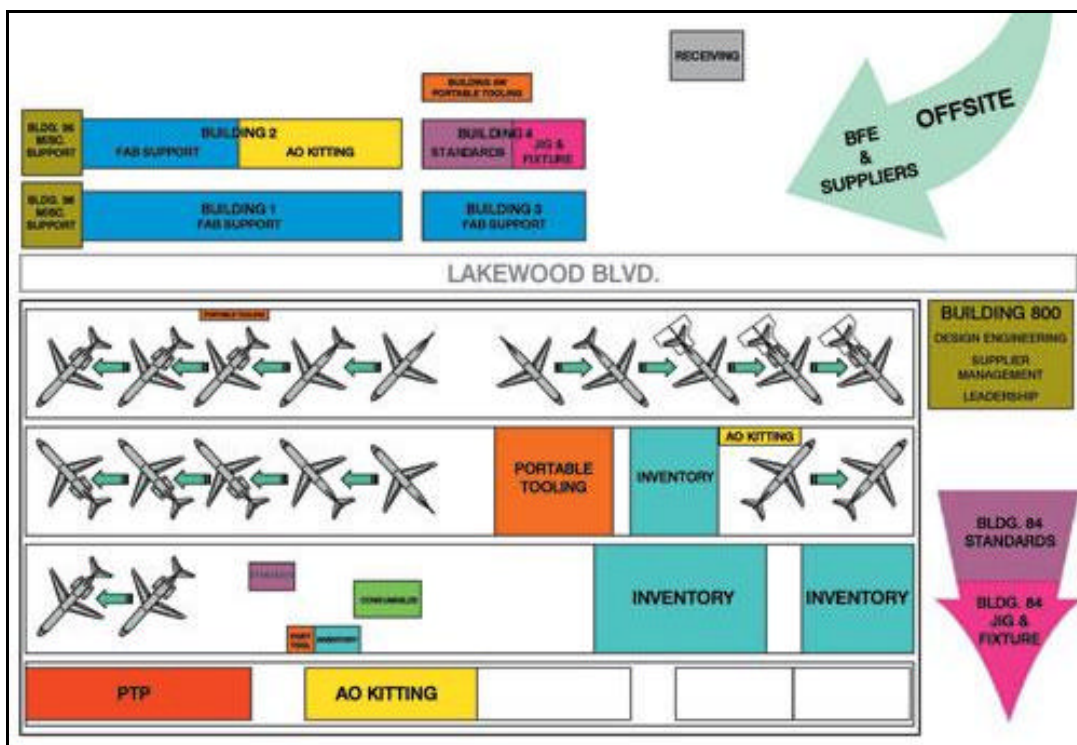
“Tradicionalmente as aeronaves são montadas em um *layout* do estilo de “vagas de garagem” (ou espinha de peixe), com múltiplas linhas “inclinadas” de produção, como pode ser verificado nas Figuras 51 e 52, a seguir. O *layout* de uma planta no estilo de vagas de garagem caracteriza-se pelo fato de que um produto começa a ser montado em um ponto e ali permanece ao longo de todo o processo construtivo,” explica Kotyluk. “Com a produção em vagas de garagem ninguém pode dizer o quão saudável está a linha de montagem.” Justamente porque não existe o movimento do produto para agir como um marcapasso, não se pode dizer, olhando-se rapidamente, se a necessidade do cliente está sendo atendida ou não.

“Não existe fluxo na produção estilo vagas de garagem,” complementa Kotyluk. “As peças têm que viajar por todo o local, ao invés de ser transportadas todas as vezes para o mesmo ponto.”



Fonte: Boeing

Figura 51 - Montagem em *layout* tradicional, de baias inclinadas (vagas de garagem)



Fonte: Boeing

Figura 52 - Antes da Implantação da Manufatura Enxuta - montagem em *layout* tradicional

Com a linha de montagem no estilo tradicional, similar às vagas de garagem, até 20 aeronaves estavam em produção ao mesmo tempo na planta da Boeing Long Beach. A nova linha de montagem, retilínea, reduziu significativamente este número, acomodando somente seis aeronaves, simultaneamente, como pode ser visto na Figura 53, abaixo.



Fonte: Boeing

Figura 53 - Montagem Final em Linha Móvel - 717

5.3.4.4 Uma Longa Linha Enxuta

A iniciativa da implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) na Boeing Long Beach foi dividida em três fases diferentes. A fase final, uma linha de montagem continuamente móvel, foi implementada no início de 2002.

A Fase Um, completada em abril de 2000, consistiu da instalação dos motores das correntes e dos trilhos para o ferramental. Depois disso, a metade oeste da fábrica

foi segregada por cordões de isolamento e a Engenharia de Fábrica começou a quebrar o piso. Eles cavaram um canal de aproximadamente 90cm de profundidade, 7,5m de largura e 335m de comprimento.

Um novo piso foi instalado para acomodar as dimensões e o peso de seis aeronaves 717 alinhadas longitudinalmente, fazendo-se necessário comentar que esta aeronave tem 37,8m de comprimento, 28,3m de envergadura e pesa aproximadamente 42.600kg. Mais de 113 toneladas de barras de aço foram instaladas como reforço do concreto sob o piso para suportar o peso das aeronaves e do ferramental.



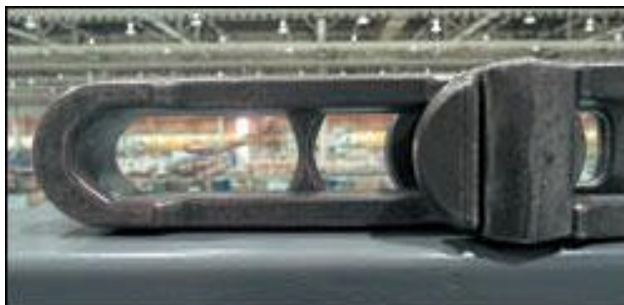
Fonte: Boeing

Figura 54 - Construção da fundação da linha móvel

Dois conjuntos de trilhos-guia paralelos foram inseridos no piso de concreto. Os trilhos internos estão a 1,5m do centro da linha, enquanto que os externos distam 3,2m do mesmo.

Duas fendas no piso contêm rebaixos paralelos que alojam grandes correntes de aço forjado, localizadas a 7,6cm abaixo do piso. Cada corrente, de cerca de 600m de comprimento, pesa aproximadamente 14,5 toneladas. Os rebaixos contêm dois

níveis: as correntes deslocam-se no nível superior para mover a linha para frente, retornando pelo nível inferior.



Fonte: Boeing

Figura 55 - A corrente de aço forjado

Um motor elétrico de 25HP, que aciona as correntes, está posicionado sob uma das extremidades da linha de montagem. “O motor aciona um conjunto bastante complexo de engrenagens que convertem a velocidade do pequeno motor no torque necessário para tracionar a linha,” disse Kotyluk.



Fonte: Boeing

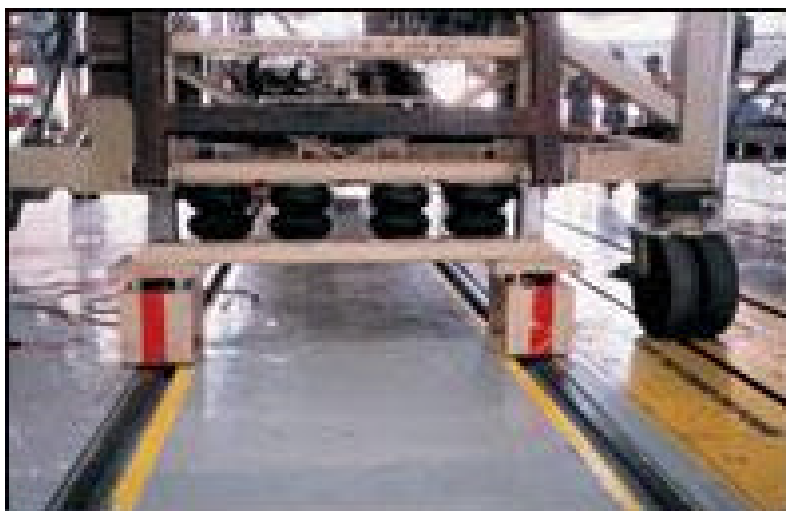
Figura 56 - Motor elétrico que traciona a corrente

A nova linha de montagem tem 350m de comprimento e 15m de largura. O projeto completo da construção levou cerca de cinco meses para ser completado. Com seus trilhos em recesso e suas fendas para os cabos paralelos, o piso da linha de montagem guarda uma grande semelhança com a Rua Powell (*Powell St.*) na cidade de São Francisco, na Califórnia, e seus trilhos para bondes elétricos.

Modo Pulsativo

A Fase Dois do projeto, completada em novembro de 2000, envolveu a rolagem das aeronaves em um modo “pulsativo”, ao longo da linha reta de montagem. Cada aeronave é suportada por quatro estruturas elevadas, com rodas, chamadas de berços, as quais são presas aos trilhos guias paralelos no piso da linha de montagem. Os berços e as plataformas de trabalho são suspensos por elevadores e, então, presos às superfícies inferiores das aeronaves por pinos. A maior plataforma de trabalho, posicionada à parte traseira de cada aeronave, consiste de três sub-plataformas de trabalho, dispostas em alturas diferentes.

Os berços e as plataformas que já se encontravam em operação foram recuperados e modificados com a instalação de pinos-guia, os quais foram alinhados com a corrente motriz sob o piso. Uma alavanca nos berços, acionada manualmente, abaixa o pino-guia, inserindo-o entre os dois comprimentos da corrente. Quando a corrente é ativada, ela traciona a aeronave e as estações de trabalho ao longo da linha, simultaneamente.



Fonte: Boeing

Figura 57 - Os dispositivos são ligados aos trilhos-guia



Fonte: Boeing

Figura 58 - Os dispositivos existentes são retrabalhados com pinos

Um carrinho-fonte de energia elétrica, que está localizado sob o meio da fuselagem de cada aeronave na linha, é também ligado ao sistema de correntes de tração, fornecendo energia elétrica e pneumática para as ferramentas, além de pontos de conexão para a linha de abastecimento de água. Esta água é utilizada para testar o desempenho dos selos de vedação quanto a vazamentos, enquanto a aeronave se move ao longo da linha de montagem.

“Nós tivemos que projetar os carrinhos-fonte de energia para puxar a eletricidade a partir dos barramentos de energia subterrâneos, e tivemos também que comprar os compressores mais avançados disponíveis,” disse Kotyluk. “Além disso, e do reprojeto das estações dianteiras de entrada (para acomodar o carrinho de energia e os compressores de ar), nós fomos capazes de usar todas as nossas ferramentas regulares, além de conseguirmos aproveitar cerca de 80% de nossos equipamentos existentes, modificando-os a contento.”

Ao ser acionado um botão, todas as seis aeronaves na linha de montagem moviam-se cerca de 50m, simultaneamente. Porque esta operação leva apenas

alguns minutos, ao invés de horas como no sistema tradicional, este sistema também proporcionava uma considerável economia de tempo.

No passado, o processo de movimentação das aeronaves exigia que os trabalhadores removessem todas as plataformas, dispositivos, ferramentas, mangueiras de ar e caixas de peças e elementos de fixação, como parafusos e rebites. Depois disso, uma barra de reboque era ligada ao trem de pouso dianteiro da aeronave e um trator manobrava cada aeronave, uma por vez, para a sua nova posição. As plataformas, os dispositivos, as ferramentas, as mangueiras de ar e as caixas de peças e elementos de fixação eram, então, movidos de volta às suas posições, para se iniciar o trabalho na próxima aeronave.

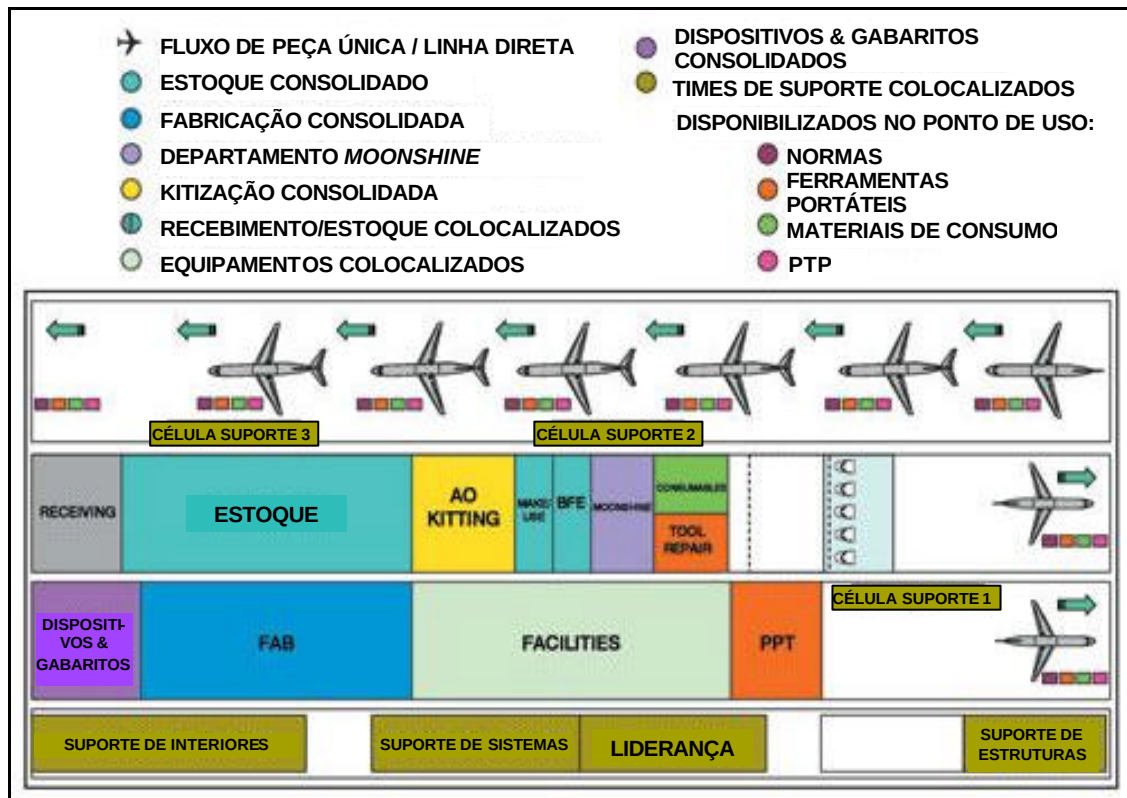
Este processo laborioso era repetido inúmeras vezes, até que todas as aeronaves tivessem sido reposicionadas. Em uma linha convencional, com *layout* inclinado no estilo de vagas de garagem, a movimentação de uma posição fixa de produção para a outra poderia levar várias horas para ser completada, comparando-se com somente 18 minutos na linha pulsativa.

“Uma linha pulsativa movimentava-se somente a cada uns poucos dias,” explicou Kotyluk. “Nós ajustamos a linha para mover-se a três metros por minuto, e movimentávamos a aeronave por cerca de 18 minutos. Isto permitia que a aeronave “pulsasse” para a sua próxima posição.”

“O trabalho não prosseguia ou se movia para a próxima posição de montagem até que os problemas detectados fossem corrigidos e todo o trabalho atribuído para aquela posição fosse completado,” acrescentou Kotyluk. “Processos confiáveis eram operacionalizados para responderem a problemas potenciais ou imediatos, de forma a manter o trabalho fluindo ou a propiciar uma rápida retomada depois que o trabalho tivesse parado. A produção no estilo de “vagas de garagem” não tem um fluxo aparente, ou qualquer um dos outros atributos acima mencionados.”

Uma Experiência Móvel

O passo final no projeto de Manufatura Enxuta da Boeing Long Beach foi a conversão para uma linha de montagem continuamente móvel, o que efetivamente ocorreu em setembro de 2001. O *layout* final, obtido após a implementação da Manufatura Enxuta, pode ser verificado na Figura 59 abaixo.



Fonte: Boeing

Figura 59 - Depois da Implantação da Manufatura Enxuta - montagem em linha móvel

A linha se move a somente 12,7mm (meia polegada) por minuto. “Obtivemos este número levando em conta o comprimento da planta de montagem, a quantidade de aeronaves que queremos ter na linha ao mesmo tempo e a cadência de produção,” explicou Kotyluk. Durante dois turnos de trabalho, o primeiro e o segundo, a linha se move a aproximadamente 5,5m por turno, parando somente quando algum problema é detectado.

“Manter as linhas de produção em movimento assegura que o valor seja adicionado durante tanto tempo quanto o produto se mover continuamente ao longo da

produção, eliminando uma enorme quantidade de custos,” disse Kotyluk. Espera-se que este novo processo produtivo, único de seu tipo no mundo, reduza o tempo de montagem final em mais de 50%, quando estiver totalmente operacional.

“O maior benefício pode ser o senso de urgência que uma linha móvel transmite por todo o processo produtivo,” disse Kotyluk. “Os empregados podem realmente ver e sentir a cadência de produção.”

O novo processo tem eliminado muitos passos que não agregavam valor. Kotyluk disse que desenhos, peças, ferramentas e instruções de trabalho são trazidos em uma abordagem de ponto de uso para os montadores, como se eles fossem cirurgiões e as aeronaves seus pacientes.

O *kitting*, separação em *kits*, ou “kitização”, como também é conhecido este recurso, desempenha um papel-chave na implementação da Manufatura Enxuta. Os *kits* são fornecidos aos montadores – uma caixa contendo peças, equipamentos e ferramentas – para cada tarefa que eles forem desempenhar. Isto elimina os deslocamentos de um centro de suprimentos para outro, o que seguramente consome muito tempo, para obter o material necessário.

Distantes poucos metros das posições de montagem estão os times de suporte, localizados em escritórios abertos, no nível do chão de fábrica. Eles são equipados com tudo o que é necessário para ajudar a manter as aeronaves em movimento, e incluem empregados que inspecionam o trabalho enquanto o mesmo é executado.

Outros recursos estão dispostos nas proximidades, incluindo uma oficina de resposta-rápida para fabricação de peças e um time especial dedicado a atender rapidamente os pedidos de equipamentos novos. Esta unidade é afetuosamente chamada de “*Moonshine Department*,” (que significa, em uma tradução direta, Departamento do Luar; no entanto, o termo *moonshine* também tem correspondência

na história dos Estados Unidos, significando o local onde se fabricavam os alambiques e se destilavam as bebidas alcoólicas ilegais, na época da Lei Seca norte-americana).

“A oficina *moonshine* é onde todas as idéias criativas provenientes da linha se tornam realidade,” disse Kotyluk. “Eles têm sido capazes de fabricar um protótipo de um ferramental em apenas umas poucas horas, de modo a podermos continuar a simular a linha móvel sem nenhum atraso. Esta oficina cria toda a infraestrutura necessária para a implementação dos pontos de uso e das linhas de alimentação. Ela também gera os modelos de documentos e formulários que ajudam os mecânicos em sua tarefa de reduzir o *cycle time* das operações de manutenção.”

O Processo de Montagem

Existem duas estações estáticas de junção e seis estações na linha móvel. O processo de montagem do 717 começa com a instalação de cablagens elétricas, painéis de controle e outros componentes, em cinco seções de fuselagem dianteira (que compreende a cabine de pilotagem e o nariz do avião), localizadas em uma curta linha móvel, adjacente à duas posições fixas onde ocorre a junção das grandes estruturas da aeronave. Cada estrutura de fuselagem dianteira é fabricada pela Korean Aerospace (localizada em Seoul, capital da Coreia do Sul) e embarcada para a montagem final em Long Beach.

Ao serem recebidas as seções acabadas de fuselagens dianteiras são movidas por uma ponte suspensa e instaladas nas seções das fuselagens que são unidas nas Posições de Montagem 1 e 2. As asas, a empenagem e os trens de pouso são também instalados nestas posições. A partir destes dois pontos, as aeronaves são transportadas para fora do prédio por um trator e rotacionadas em 180°. Uma vez que as aeronaves estejam alinhadas, os berços com rodas são posicionados sob a cauda, o nariz e sob cada uma das semi-asas. A aeronave, então, está pronta para começar a sua jornada na linha de montagem final.

A linha móvel de montagem final tem, como já mencionado, seis estações de produção. O trabalho realizado em cada uma das estações consiste, em linhas gerais, nas seguintes operações:

- A instalação dos flapes, *slats*, estabilizadores horizontais e vertical e leme de direção ocorre na Posição 3. A maioria da fiação e cablagem elétrica, das linhas hidráulicas e das linhas de combustível é também instalada neste lugar, além do sistema de degelo. Esta posição também inclui a execução do teste de pressurização da fuselagem.
- Na Posição 4 são instalados os cabos dos sistemas de comando de vôo e o sistema hidráulico, além da interligação final do sistema elétrico, dos revestimentos internos laterais, dos revestimentos do teto e das divisórias do lavatório traseiro.
- Na Posição 5 são instalados os bagageiros, os painéis do teto, os sistemas de combustível dos pilones, os revestimentos das portas e uma unidade auxiliar de potência (*APU*). Nesta posição também é executado o teste de continuidade da cablagem elétrica.
- Na Posição 6 são instalados os motores, os componentes finais da asa, os equipamentos e instrumentos da cabine de pilotagem e os revestimentos de base para os carpetes pré-cortados.
- Instalam-se na Posição 7 as carenagens dos motores, as carenagens dos fans, as luzes externas e os carpetes. Nesta posição são executados os testes funcionais do radar e dos sistemas de comunicação, navegação e piloto-automático.
- Na Posição 8 são instalados os assentos da cabine de pilotagem e da cabine de passageiros. O teste dos escorregadores do sistema de evacuação em emergência e as inspeções dos clientes também ocorrem nesta etapa final.

“Nós temos visto resultados dramáticos na Posição 3,” disse Kotyluk. “Eles estão no estágio mais avançado da jornada rumo ao estado *lean* e já estão colhendo os resultados. Nenhum treinamento especial foi necessário e as reações da maioria dos montadores têm sido bastante positivas.”

O maior desafio com a linha móvel de montagem tem sido a capacidade dos montadores de parar a linha quando um erro é detectado. Isto evita que defeitos sejam passados para a próxima etapa no processo produtivo. Igualmente crítica tem sido a capacidade de se colocar a linha novamente em movimento, uma vez que um defeito tenha sido corrigido.

As lições aprendidas com o novo processo de montagem do 717 já estão sendo aplicadas a outras plantas fabris da Boeing, responsáveis pela montagem de aeronaves de maior porte. De acordo com Kotyluk, a experiência com a planta de Long Beach despertou um grande interesse pelo sistema em toda a companhia.

“Representantes de todas as plantas, e não somente daquelas dedicadas às aeronaves comerciais, têm estado aqui para avaliar o nosso progresso e aprender como iniciar a mesma jornada rumo à eliminação dos desperdícios,” enfatiza Kotyluk. Por exemplo, engenheiros da planta de Renton, no estado de Washington, responsável pela fabricação dos Boeing 737 e 757, conduziram simulações com diferentes tipos de mecanismos de movimentação de linha, praticando também vários exercícios sobre os sistemas de “kitização”, antes de decidirem-se pelo melhor método de implementar a linha móvel de montagem final em sua fábrica.

5.3.4.5 A abordagem da Boeing: Envolvimento dos Empregados

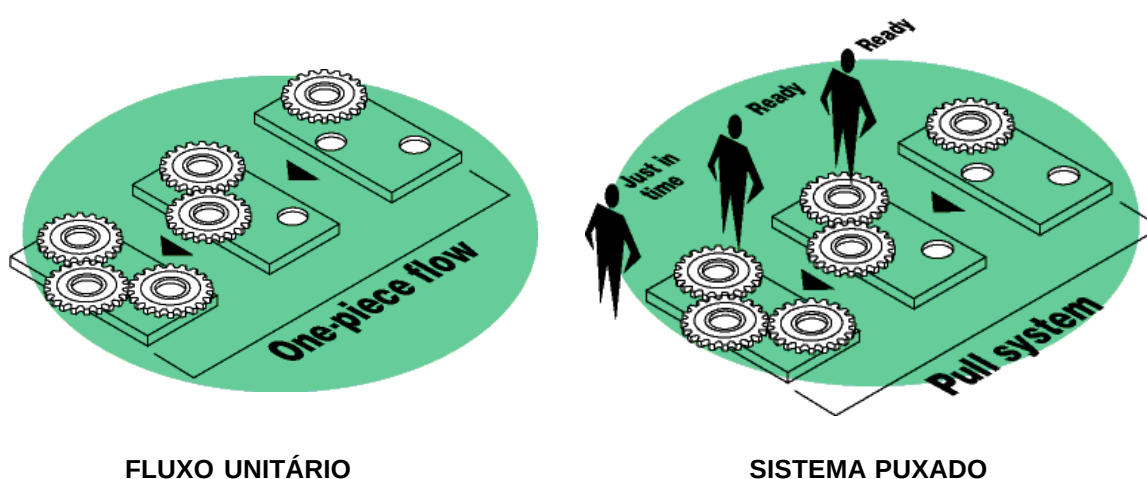
Uma empresa *Lean* fundamenta-se em empregados a quem tenham sido atribuídas as responsabilidades de questionar e introduzir mudanças nos processos existentes. A administração da Boeing enfatiza que a empresa depende das pessoas que trabalham diária e regularmente com os processos e produtos, considerando

essenciais as suas idéias e experiências para identificar e remover os desperdícios na manufatura e nos processos de suporte da organização. Conforme enfatizado durante os treinamentos e palestras da Boeing, uma empresa *Lean* realmente proporciona aos seus empregados oportunidades de influenciar seus ambientes de trabalho e contribuir para os resultados dos negócios da corporação.

5.3.4.6 O Fluxo do Valor na Visão da Boeing

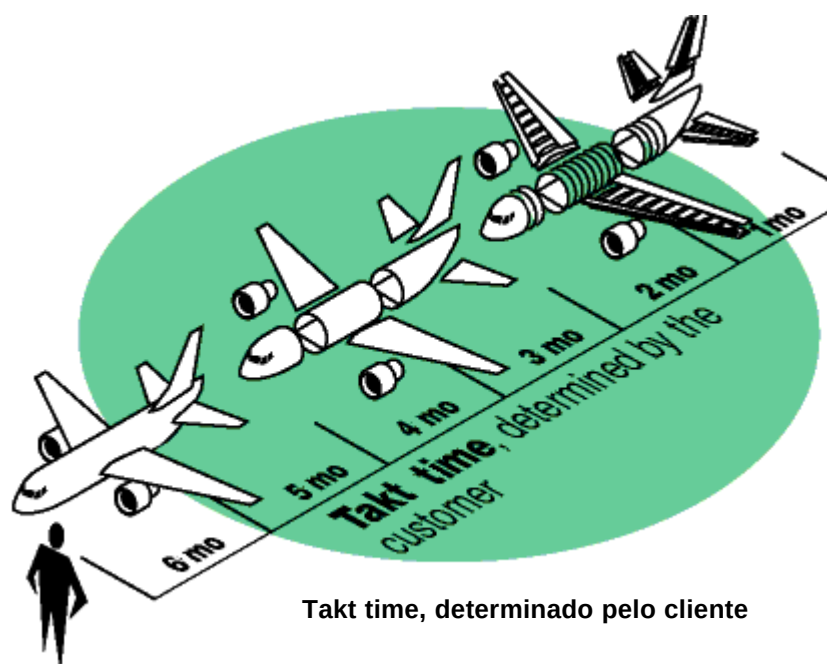
Desenvolver-se uma empresa *Lean* significa avaliar os processos dentro e fora dos limites físicos da fábrica, aplicando-se as contribuições dos empregados da Boeing em pontos estratégicos, no que isto seja conhecido como o Fluxo do Valor. A produção de uma aeronave pode ser vista como um fluxo constante de processos interconectados. Um Fluxo do Valor descreve o conjunto completo de atividades necessárias para criar e fabricar um produto, desde o desenho de detalhes até a produção, a entrega e o suporte pós-entrega.

Cada parte da corporação Boeing: marketing, vendas, engenharia, manufatura, suporte ao cliente, fornecedores e os fornecedores destes, devem ser *Lean*, para que toda a empresa possa, efetivamente, também ser *Lean*.



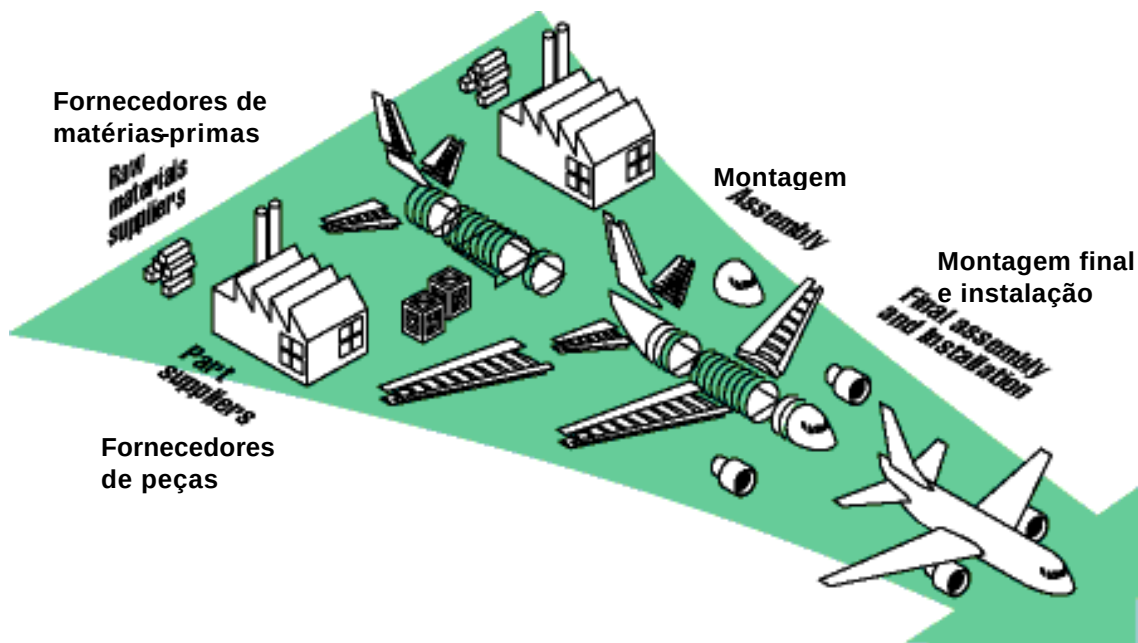
Fonte: Boeing

Figura 60 - Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – Fluxo Unitário e Sistema Puxado



Fonte: Boeing

Figura 61 - Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – Takt Time



Fonte: Boeing

Figura 62 - Fluxo Simplificado de Produção da Boeing – Estágios de Fabricação

5.3.4.7 As Ferramentas da Boeing

- Oficinas de Melhoria Acelerada (*AIW - Accelerated Improvement Workshops*)

Uma *AIW* é uma atividade de duração de uma semana que combina treinamento, planejamento e implementação para realizar melhorias rápidas no chão de fábrica. Durante uma *AIW* os gerentes delegam autoridade aos empregados para que estes executem mudanças significativas em procedimentos, regras, máquinas e no próprio fluxo do trabalho.

- Oficinas de Manutenção Autônoma (*AMW - Autonomous Maintenance Workshops*)

A Manutenção Autônoma é uma filosofia na qual os operadores e o pessoal da manutenção assumem a responsabilidade pelo cuidado diário e pela verificação do estado dos componentes críticos de seus equipamentos. Estas verificações críticas são desenvolvidas e documentadas durante os *workshops*. O desempenho do ativo (equipamento ou máquina) é melhorado continuamente por meio das atividades de pequenos grupos.

- Avaliações de Manufatura Enxuta (*LMA - Lean Manufacturing Assessments*)

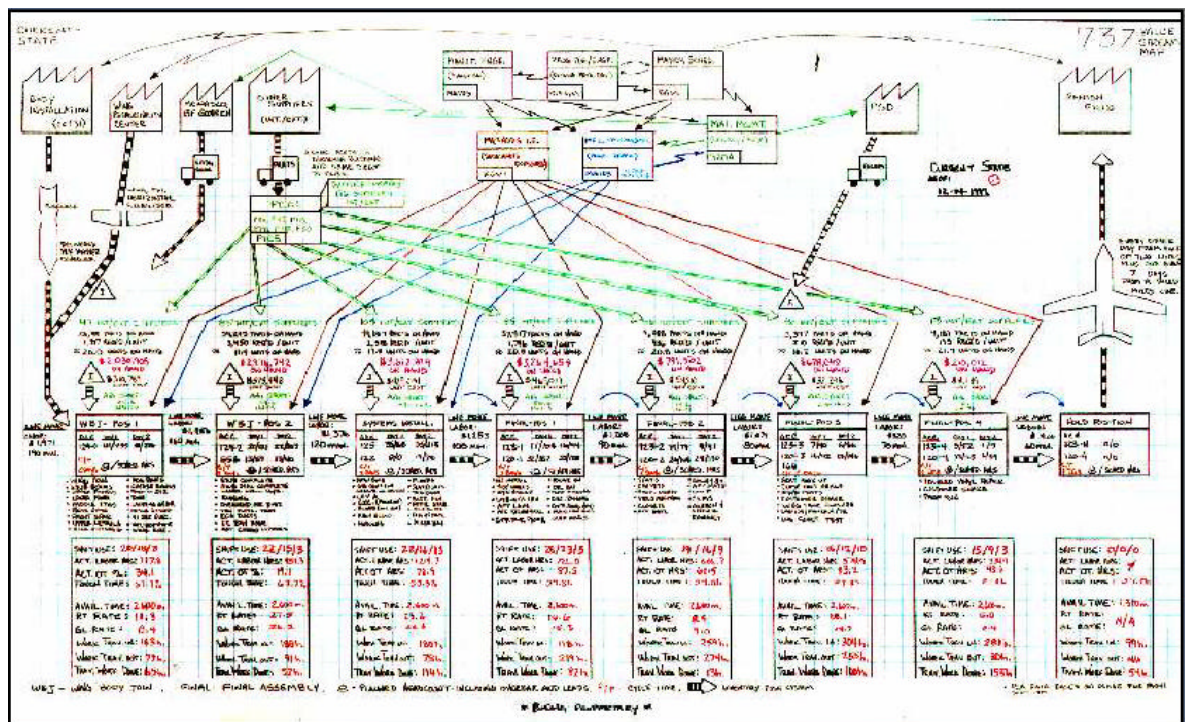
Uma *LMA* é uma ferramenta de diagnóstico na qual os representantes de cada função, de um site em particular, documentam os processos existentes, identificam melhores métodos para realizar o mesmo trabalho, e desenvolvem um plano de implementação para que se possa mudar do método atual para os processos mais novos, aprimorados. O plano serve de guia para a implementação do sistema *Lean* em uma área específica de trabalho.

- Oficinas de Processo Preparação Produção (*3P - Production Preparation Process*)

Enquanto as A/W eliminam, rápida e incrementalmente, o desperdício nos projetos e processos existentes, as oficinas 3P focalizam no reprojetado de peças, equipamentos e processos, para se extrair (eliminar) o desperdício dos mesmos.

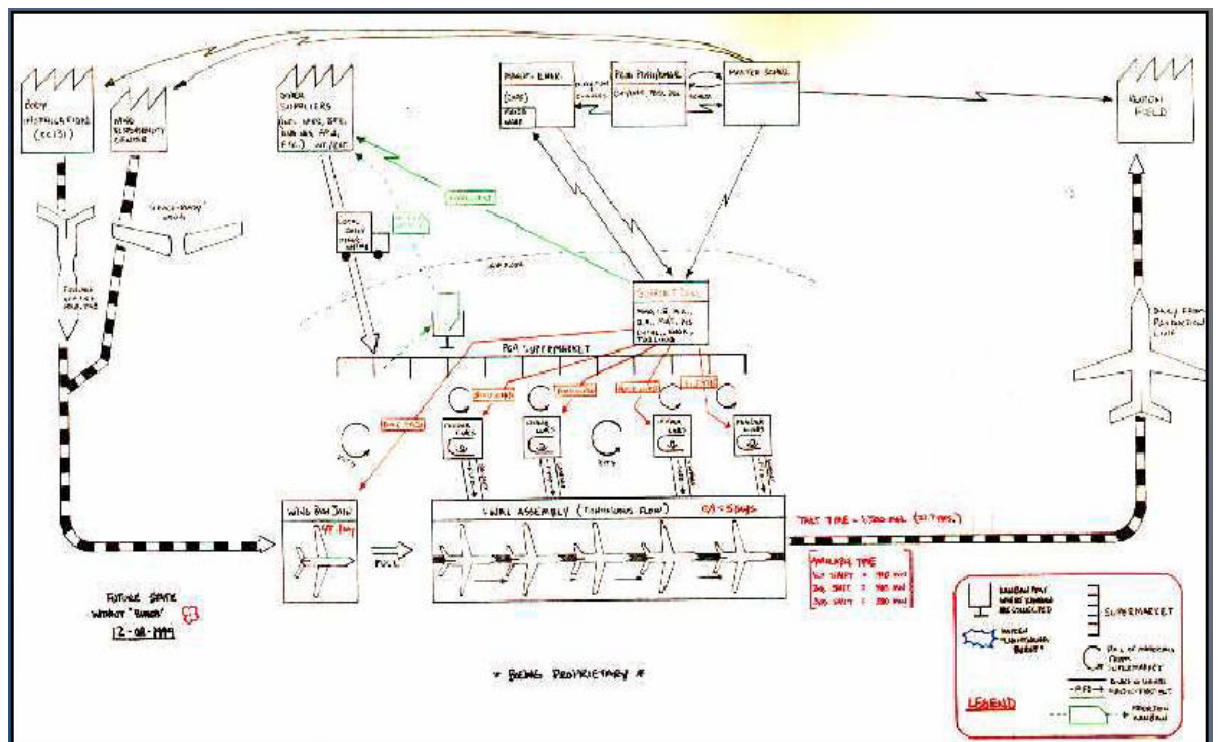
- Análise do Fluxo do Valor

A Análise do Fluxo do Valor é um processo que fornece o “grande retrato” – um modo de se visualizar o fluxo total do produto e os processos utilizados para se trazer o produto desde a matéria-prima até as mãos das companhias aéreas clientes da Boeing.



Fonte: Boeing

Figura 63 - Mapeamento do Fluxo do Valor para a Antiga Linha do 737



Fonte: Boeing

Figura 64 - Mapeamento do Fluxo do Valor para a Linha Móvel do 737



Fonte: Boeing

Figura 65 - Linha Móvel de Montagem Final do 737



Fonte: Boeing

Figura 66 - Transição dos 747 para Linha Móvel de Montagem Final

5.3.5 Resultados Imediatos

Como já se disse anteriormente, o sistema de montagem final em linha móvel foi instalado para melhorar a qualidade e reduzir os custos e o *cycle time* durante a montagem do 717, que estava sendo fabricado, à época da introdução, a uma cadência de 3,5 aeronaves por mês. Em abril do ano subsequente, 2001, já se tinha conseguido aumentar esta cadência para cinco aeronaves por mês, mantendo-se exatamente o mesmo efetivo empregado na montagem final.

Um outro resultado muito positivo, obtido graças à nova linha de produção, foi a redução do *span time* para o 717 em mais de 50%, comparado com o processo anterior do MD-80. O melhor *span time* para se montar as aeronaves MD-80 e MD-90 era de 65 dias, medidos desde o início da junção da fuselagem até a aeronave estar pronta para o hangar de pintura.

Ilustrativamente, à época da introdução deste sistema a Boeing já tinha entregue 32 aeronaves 717-200, tendo ainda pedidos firmes para 149 aeronaves, em adição a algumas vendas ainda não anunciadas e a 149 opções de compra.

Comprovando mais uma vez o acerto desta iniciativa *lean* de caráter estratégico, em 15 de agosto de 2002 a Boeing começou a montar também as aeronaves 757 em uma linha móvel, em sua planta de Renton, Washington.

O sistema de linha móvel utilizado para os 757 desloca a aeronave cerca de 7,5m por dia, ao longo do estágio de montagem final. Estas aeronaves de noventa toneladas são tracionadas por um reboque automático do mesmo tipo utilizado na linha móvel de montagem dos 737.

Em Renton o Sistema *Lean* está sendo implementado em fases, tendo sido iniciado com a última posição da linha de produção. Quando a implementação tiver sido completada, o programa 757 espera que se consiga reduzir o *flow time* e os níveis de estoque em mais de 30%.

Atividades similares de implementação estão sendo levadas a cabo nas demais fábricas da Boeing no estado de Washington, e quando a montagem final dos 767 tiver sido plenamente convertida para este novo sistema e todas as linhas móveis estiverem operando à plena capacidade, a Boeing pretende ter reduzido o *cycle time* da montagem final de suas aeronaves comerciais em cerca de 50%.

A Divisão de Aeronaves Comerciais da Boeing tem caminhado a passos largos rumo ao atingimento de um fluxo suave e contínuo de peças, com a implementação dos princípios *Lean* nos sistemas de distribuição e de entrega nos pontos-de-uso. A

entrega no ponto-de-uso permite à Boeing entregar o material necessário para se fabricar as aeronaves (matéria-prima, material de consumo, equipamentos, instrumentos e ferramentas) diretamente na área de produção que irá fazer uso dele, no tempo exatamente planejado e na quantidade necessária, reduzindo dramaticamente os níveis de estoque. Somente considerando as plantas de fabricação de partes e peças, os empregados têm reduzido os níveis dos estoques em mais de um bilhão de dólares desde janeiro de 1999.

Na planta da Boeing em Spokane, onde os painéis dos pisos são fabricados, o emprego das técnicas de Manufatura Enxuta conseguiu reduzir o tempo de fabricação em 60% e a área ocupada pela manufatura em mais de 50%. Estas conquistas não somente baixaram os custos de produção mas também liberaram capacidade de manufatura para outras atividades. Os empregados fizeram o melhor uso desta oportunidade celebrando contratos com duas companhias aéreas, a Delta Airlines e a Alaska Airlines, para fabricarem painéis de reposição para o piso de suas aeronaves.

A utilização do sistema de produção enxuta na Boeing tem tido sua maior aplicação no desenvolvimento e na montagem da aeronave 777.

Os esforços na redução do *flow-time* na área de junção final da fuselagem do 777 eliminou a necessidade de uma segunda linha de produção, poupando milhões de dólares.

Na planta da Boeing em Frederickson, Washington, onde peças e partes das asas são fabricadas, os empregados reduziram o *flow-time* na manufatura dos reforçadores (*stringers*) de mais de nove dias e meio para cinco dias, com os níveis dos estoques tendo sido cortados em 50%. Resultados similares podem ser encontrados nos revestimentos das asas, onde o *flow-time* foi reduzido de onze para sete dias e os níveis de estoque baixados em 43%.

Em sua planta de fabricação de peças usinadas localizada em Auburn, Washington, os empregados reduziram os estoques em 60% já na fase inicial da

implementação da manufatura enxuta, ocorrida ao final de 1999. Desde então as taxas de giro dos estoques têm sido aumentadas de 4,0 para 6,4 e a incidência de defeitos tem sido reduzida em 48%.

Tendo implementado sistemas de controles visuais, simplificado o processo de reordenação e reduzido o número de rebites e prendedores padrão, os empregados no Centro de Responsabilidade de Asas (*Wing Responsibility Center*) em Everett, Washington, economizaram mais de três milhões de dólares em 1999.

Em 20 de junho de 2002 o protótipo do novo 777-300ER, modelo cuja primeira entrega está prevista para ocorrer em março de 2004, foi o primeiro 777 construído com a utilização do processo de linha móvel para a sua montagem final. Ao manter-se a produção se movendo a um ritmo uniforme, permite-se que os empregados possam verificar e ajustar o seu desempenho olhando de relance, ao mesmo tempo que permite reduzir a quantidade de estoques intermediários, fazendo com que a utilização de uma linha móvel no programa 777 favoreça a melhoria da qualidade final do seu produto, além de reduzir os custos envolvidos enquanto se encurta o prazo necessário para se entregar as aeronaves aos seus compradores.

5.3.6 Resultados Estratégicos

Face aos excelentes resultados obtidos a Boeing optou por incorporar a Filosofia *Lean* em sua cultura corporativa, assegurando-se de que a Mentalidade Enxuta e o conhecimento adquirido estejam distribuídos em todos os níveis da companhia ao incorporar a disciplina *Lean* ao currículo do Centro de Liderança Boeing (*Boeing Leadership Center*), um local onde os líderes, gerentes e chefes, de todos os níveis, comparecem para aprender e desenvolver habilidades de liderança que irão auxiliá-los a atingir os objetivos dos negócios da empresa.

Tratando-se dos empregados do chão-de-fábrica, são organizados seminários *Gemba Kaizen* (aprimoramento do chão-de-fábrica) em todas as plantas da Boeing;

liderados por consultores internos *Lean*, estes seminários são Oficinas de Melhoria Acelerada (*AIW - Accelerated Improvement Workshop*) que permitem que os seus empregados e gerentes possam, simultaneamente, aprender e implementar as técnicas *Lean*.

A Boeing estrategicamente tem reconhecido que, de tão impressionantes que têm sido os resultados obtidos, a Filosofia *Lean* tem que ser aplicada em uma escala muito maior do que somente na manufatura. Ao aplicar os princípios *Lean* por toda a corporação a Boeing pretende, conforme seus representantes, nivelar dramaticamente a eficiência e a força da Mentalidade Enxuta, fazendo com que esta permeie as áreas de engenharia, logística (interna e externa), suporte ao cliente, contabilidade e finanças, além de incorporar-se firmemente em todos os seus fornecedores, tornando seus fluxos de conjuntos completos, subconjuntos e peças muito mais ágil, rápido e preciso.

Ao longo dos próximos anos a Boeing pretende nivelar o conhecimento e as melhores práticas de seus maiores segmentos de negócios – Aeronaves Comerciais, Espaço e Comunicações, Aeronaves Militares e Sistemas de Mísseis, e Serviços Compartilhados – para acelerar a implementação dos princípios e das práticas *Lean*. Adicionalmente, por meio da colaboração com a LAI - *Lean Aerospace Initiative* – um consórcio de líderes da Força Aérea Norte-Americana, do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), empresas dos setores de defesa e aeroespacial – a Boeing continuará a criar e entregar mais valor efetivo a seus clientes.

5.3.7 Excelência na Montagem do 7E7

A Boeing assegura que os aviões de sua nova linha 7E7, que contarão com a capacidade de transportar entre 200 e 250 passageiros, terão um ciclo completo de montagem de apenas três dias.

Usando uma combinação de novas tecnologias, materiais e processos de produção enxuta - além de uma parcela sem precedentes de parceiros e fornecedores subcontratados - a fabricante norte-americana está convencida de que reduzirá o tempo de montagem final entre 75 e 90%.

Mike Bair, vice-presidente senior para o projeto 7E7, disse que a previsão é de que boa parte do trabalho esteja concluída antes da montagem final, sendo levadas para a última linha de montagem em segmentos relativamente completos.

Comparativamente, hoje em dia o tempo de montagem final de um avião de grande porte na linha de montagem final da Boeing de Everett é de 13 a 25 dias.

Segundo Bair, a utilização de compósitos reforçados e fibras de carbono, em vez de alumínio, desempenha um papel importante para facilitar a montagem e reduzir a mão-de-obra necessária para a linha 7E7. Simplificando a produção, a Boeing planeja empregar entre 800 e 1.200 funcionários para fabricar e apoiar o programa. Os modelos fabricados atualmente, do mesmo porte, requerem dez vezes mais trabalhadores na sua construção e montagem.

5.4 BOMBARDIER **BOMBARDIER** *AEROSPACE*



5.4.1 Origens da Bombardier Aerospace

Com a relativamente recente fusão dos fabricantes americanos Boeing e McDonnell Douglas, a Bombardier Aerospace tornou-se o terceiro maior fabricante de aeronaves civis no mundo.

A participação da Bombardier Inc. no ramo aeroespacial teve início com a aquisição da Canadair Limited pela corporação, em dezembro de 1986. A Canadair, considerada o maior fabricante diversificado na indústria aeroespacial canadense, construiu mais de 4.400 aeronaves civis e militares desde o início de suas operações, em 1944.

A segunda aquisição da Bombardier no ramo aeroespacial ocorreu em outubro de 1989, envolvendo a compra da Shorts Brothers (PLC), de Belfast, Irlanda do Norte, a mais antiga indústria de manufatura aeronáutica do mundo.

A norte-americana Learjet, de Wichita, Kansas, uma pioneira na indústria de jatos executivos, foi formalmente integrada à família aeroespacial Bombardier em meados de junho de 1990, enquanto que a de Havilland Canada tornou-se, por sua vez, a mais recente aquisição da Bombardier, iniciada em março de 1992, quando a corporação canadense comprou da Boeing Aircraft Co. 51% das ações da empresa, e concluída em janeiro de 1996, quando a Bombardier tornou-se a única proprietária da de Havilland. Uma consagrada líder na indústria dedicada ao fornecimento de aeronaves turboélices às linhas aéreas regionais, a de Havilland já entregou mais de 7.400 aeronaves dos modelos Twin Otter, Dash 7 e Dash 8.

Juntas, as quatro empresas fabricantes de aeronaves adquiridas pela Bombardier entre 1986 e 1997 acumulam mais de 250 anos de história aeronáutica, tendo entregue perto de 14.000 aeronaves.

Atualmente, a Bombardier Aerospace é considerada como uma das empresas líderes do mundo no projeto e na manufatura de produtos e serviços inovadores para os mercados de aeronaves regionais, executivas e anfíbias, contando com aproximadamente 28.000 empregados e tendo suas principais plantas de engenharia e manufatura em Montreal e Toronto, no Canadá, em Wichita, Kansas, Estados Unidos e em Belfast, Irlanda do Norte. Este legado de inovação consolida mais de 250 anos de história da aviação, tendo gerado a impressionante estatística de 16 novos programas operacionalizados nos últimos 15 anos.

5.4.2 Aeronaves Regionais da Bombardier

A Bombardier oferece ao mercado de aeronaves regionais os seguintes modelos:

- Séries CRJ de jatos regionais:

CRJ100/200, de 50 passageiros, CRJ700 Série 701, para 70 passageiros, CRJ700 Série 705, para 75 passageiros e o CRJ900, de 86 passageiros.

- Séries Q de turboélices regionais:

Q100/200, de 37 a 39 passageiros, Q300, para 50 a 56 passageiros e o Q400, para 68 a 78 passageiros.

Dos modelos apresentados, a série de jatos CRJ é a mais moderna e representativa da atual tendência do mercado mundial de aeronaves regionais, sendo a que realmente oferece séria competitividade a todos os modelos de características similares dos demais fabricantes considerados neste trabalho.

Segundo a Bombardier, depois de 895 horas voadas por dois protótipos, em 347 vôos ao longo de um período de 13 meses, o CRJ900, o maior e mais novo jato regional da Bombardier, obteve seu Certificado de Tipo do órgão homologador canadense, a *Transport Canada*, em 12 de setembro de 2002. Aproximadamente cinco meses mais tarde, em fevereiro de 2003, depois de obter os Certificados de Tipo do *FAA* e do *JAA*, correspondentemente órgãos homologadores americano e europeu, a Bombardier efetuou a primeira entrega de uma aeronave CRJ900 de produção para a companhia norte-americana de transporte aéreo regional Mesa Air Group, sediada em Phoenix, Arizona.

Sendo uma variante alongada da aeronave de 70 assentos CRJ700, da qual já existe uma razoável quantidade operando em várias companhias aéreas, como a Horizon Air, a American Eagle, o Mesa Air Group, a Brit Air e a Lufthansa CityLine, o primeiro CRJ900 voou pela primeira vez no final de 2001. Aquela aeronave, na verdade um protótipo do CRJ700 que foi modificado para aceitar dois segmentos (*plugs*) de fuselagem, um medindo 2,3m, inserido à frente das asas e o outro medindo 1,6m, posicionado logo atrás das asas, serviu como plataforma principal para a validação de estruturas e sistemas. Um segundo protótipo CRJ900, que decolou pela

primeira vez em outubro de 2001, realizou ensaios para a validação de sistemas e verificação de ruído, tendo também participado na certificação do compartimento de bagagens.

O CRJ900 chegou ao mercado mais de dois anos antes da programada certificação do EMBRAER 175, de 78 assentos, seu competidor mais próximo em termos de capacidade de assentos e peso operacional. Entretanto, o 175 oferece maior espaço interno de cabine e maior capacidade de bagagem, atributos vitais, segundo a Embraer, para as rotas mais longas que devem ser servidas por aeronaves desta classe de assentos. Enquanto a Embraer espera que seus projetos inovadores, não derivados de um modelo já existente, possam ser tão atrativos para as companhias maiores de transporte aéreo quanto o são para as regionais, a Bombardier optou por uma abordagem mais restritiva ao alongar, primeiramente, seu CRJ dedicado à classe de 50 assentos para criar o CRJ700 e, depois, novamente alongar este último para gerar o CRJ900. As limitações impostas por tal abordagem podem ser facilmente identificadas ao se analisar os fatos mais recentes ocorridos com a Bombardier durante o lançamento da versão CRJ900LR, de maior alcance. Explicando como a Bombardier chegou à esta nova variante, que tem um peso máximo de decolagem de 38.330kg, aproximadamente 1.800kg a mais do que o CRJ900 *standard* e 900kg a mais do que o CRJ900ER, de médio alcance, os representantes da empresa disseram que este alcance extra foi obtido com a penalização da distribuição dos pesos de decolagem mais altos, expandindo-se o envelope de alcance da aeronave mas impondo restrições à carga-paga transportada nos percursos mais longos, pois esta era a única solução possível face às limitações oferecidas pela estrutura da aeronave.

5.4.3 Características de Fabricação e Montagem na Bombardier

As principais plantas de engenharia e manufatura da Bombardier, localizadas em Montreal e Toronto, no Canadá, em Wichita, Kansas, Estados Unidos e em Belfast, Irlanda do Norte, ainda operam com processos e configurações de *layout* que podem ser classificados como sendo dos mais convencionais, tradicionalmente utilizados pela maioria das fábricas aeronáuticas até o final da década de 1990.

A necessidade de se transpor grandes barreiras físicas, como o oceano Atlântico, ao se transportar conjuntos volumosos e razoavelmente pesados para as linhas de montagem final localizadas no Canadá, fizeram com que a Bombardier recorresse a sistemas já consagrados pelas indústrias aeronáuticas de todo o mundo: a utilização de aeronaves de transporte de grande capacidade, como mostrado nas Figuras 67 e 68, a seguir, que ilustram o carregamento de uma seção de fuselagem, de 19m de comprimento, do primeiro CRJ700 em uma aeronave russa Antonov An-124, pertencente à frota da empresa especializada britânica HeavyLift.



Fonte: Bombardier

Figura 67 - Carregamento da seção da fuselagem do CRJ700 em um An-124



Fonte: Bombardier

Figura 68 - Seção da fuselagem do CRJ700 já carregada em um An-124

A filial irlandesa Bombardier Shorts é a responsável pelo projeto e fabricação das fuselagens dianteira e central para todas as aeronaves da família CRJ, bem como das naceles completas para os motores General Electric CF34-8C1 que impulsionam estas aeronaves.

Como pode ser visto nas Figuras 69 e 70, localizadas nas próximas páginas, as linhas de montagem final da Bombardier ainda não apresentavam, até a conclusão deste trabalho, nenhum sinal de inovação em termos de *layout*, mantendo a configuração tradicional de montagem em estações dispostas linearmente. Nesta fotografia pode ser visto, com clareza, como as plataformas de trabalho, os equipamentos de suporte e as ferramentas necessárias para cada estação devem seguir a sequência operacional de: aproximação, montagem, utilização, desmontagem, recuo para permitir a movimentação da aeronave para a próxima estação e o recebimento da aeronave vinda da estação anterior, repetindo-se, então, todo o ciclo para este novo exemplar.

Trata-se, justamente, do processo que se caracteriza por apresentar as mais precárias condições de visualização de fluxo de trabalho e de flexibilidade de alteração da sequência de montagem, dois fatores considerados, por todas as demais empresas

de grande porte consultadas nesta pesquisa, primordiais para a compatibilização do atendimento das necessidades atuais das companhias de transporte aéreo regional em termos de prazo de entrega, disponibilização de recursos para o pagamento. condições para o adequado recebimento das aeronaves e a alteração da configuração das aeronaves que ainda estão em processo de fabricação (fato bastante corriqueiro em se tratando de atualização de componentes aviônicos e de acabamento do interior das aeronaves).



Fonte: Coleção do Autor

Figura 69 - Linha de montagem final da Bombardier em Montreal



Fonte: Coleção do Autor

Figura 70 – Montagem do protótipo do CRJ900 na fábrica da Bombardier

Entretanto, não se pode afirmar que o conservadorismo que se afigura no *layout* das linhas de montagem final das aeronaves da Bombardier seja uma característica presente em todas as iniciativas da empresa. Contando com um parque de máquinas modernizado, uma excelente posição em termos de acesso às universidades e aos centros de pesquisa aeronáutica do Canadá, da Europa, dos Estados Unidos e do Japão e uma bem-montada infraestrutura de treinamento de seu pessoal, apenas para citar algumas vantagens competitivas mencionadas pela empresa, a Bombardier também utiliza as técnicas de divisão de trabalho e do risco do negócio através de parcerias no desenvolvimento e na fabricação de suas aeronaves. Uma boa evidência dos resultados desta prática é a lista de parceiros envolvidos no programa CRJ900, mostrada na Tabela 1 a seguir, da qual constam empresas de renomada qualidade e competência aeronáutica (algumas dos quais também são parceiras em programas da principal concorrente da Bombardier, a brasileira Embraer).

Tabela 1 - Principais Parceiros e Fornecedores do Programa CRJ900

EMPRESA	SEGMENTO OU EQUIPAMENTO FORNECIDO
Bombardier Canadair	Nariz, cabine de pilotagem, fuselagem dianteira, asas e leme de direção, portas de passageiros, dos compartimentos de bagagem e de serviços, além das carenagens (portas) do trem de pouso principal.
Gamesa	Profundores, estabilizadores vertical e horizontal e carenagens aerodinâmicas dos <i>fins</i> .
GKN Westland	Cone de cauda.
B.F.Goodrich	Trens de pouso (principal e de nariz), sistemas de controle de voo.
Hella	Sistema de iluminação.
Honeywell	Unidade Auxiliar de Potência (APU).
Intertechnique	Sistemas hidráulicos (algumas partes).
Latecoére	Porta do compartimento dianteiro de bagagem.
Liebherr	Sistemas de pressurização e ar condicionado.
Mitsubishi Heavy Industries	Fuselagem traseira.
Parker/Abex	Sistemas hidráulicos (componentes e integração).
Rockwell Collins	Sistemas aviônicos.
Bombardier Shorts	Fuselagem central.
Sundstrand	Sistemas dos <i>slats</i> e flapes, sistemas elétricos.

Fonte: Bombardier

5.4.4 Iniciativas *Lean* na Bombardier

Confirmando as suposições levantadas quando do início do trabalho de coleta de informações a respeito da implementação da Manufatura Enxuta na Bombardier Aerospace, as respostas enviadas por representantes desta empresa indicaram que a

decisão corporativa da Bombardier foi por não se adotar quaisquer vínculos com o que se pudesse classificar formalmente como *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta.

Conforme a própria empresa, a Bombardier aplica sistematicamente o programa de qualidade Seis Sigma, em todas as suas unidades financeiras e de manufatura, considerando que o objetivo deste programa é capacitar as companhias a responder de maneira mais rápida e efetiva que a competição.

A Bombardier tem aplicado as metodologias Seis Sigma desde 1996 e, em palavras de um representante de sua área dedicada à Qualidade Corporativa, “utiliza a sua própria bem estabelecida experiência *in-house* para desenvolver e ministrar o treinamento intensivo, de uma semana de duração, necessário para se formar um Analista Seis Sigma”.

Este mesmo representante acrescenta que, baseando-se em sua experiência profissional como Agente-Mestre Seis Sigma (*Six Sigma Master Agent*) - na classificação particularmente adotada pela Bombardier – a empresa valoriza a metodologia que evidencia a maior diferença entre o Seis Sigma e as outras iniciativas relativas à qualidade: a sistemática de que, nas iniciativas Seis Sigma, os empregados de maior potencial são identificados e treinados para se tornarem *Black Belts*, passando a dedicar-se em tempo integral à pesquisa e solução da causa-raiz de um problema, abstraindo-se do tumultuado ambiente de convivência diária com vários problemas menores, que consumiam tempo considerável em sua totalidade, e de constantes mudanças de prioridades na execução das tarefas.

Além da adoção das metodologias Seis Sigma a Bombardier emprega corporativamente mais um outro programa, o Processo de Melhoria Contínua, ou *CIP* (*Continuous Improvement Process*), que visa capacitar a todos os empregados na viabilização de suas próprias idéias, experiências e conhecimento para otimizar produtos, instalações e processos.

Consultada informalmente sobre a utilização das técnicas inerentes ao Sistema Toyota de Produção, a Vice-Presidência de Seis Sigma da Bombardier Inc. disse que a totalidade das práticas referentes ao Gerenciamento da Qualidade Total, ou *TQM – Total Quality Management*, tem sido naturalmente adotada pela empresa desde a sua constituição formal, em 1986, estando presente mesmo antes disso, na gestão das empresas que, hoje integradas, formam a corporação Bombardier.

Uma característica interessante mencionada pela Vice-Presidência de Seis Sigma da Bombardier Inc. foi que a corporação optou pela implementação desta metodologia como parte dos esforços que objetivavam a economia de despesas (fato este considerado, em comentário adicionado pelo autor, inerente à filosofia que embasa os princípios da metodologia Seis Sigma, pois, os projetos Seis Sigma são tradicionalmente conduzidos para melhorar o desempenho empresarial ligado a resultados financeiros mensuráveis e, segundo Perez-Wilson, 1999, “cada projeto possui o potencial de trazer 75.000 dólares em melhorias de custos”). Atualmente na Bombardier, entretanto, os projetos Seis Sigma são medidos conforme os critérios de aumentarem ou não a velocidade dos processos, melhorando-os efetivamente ou aumentando a satisfação do cliente, e não mais em termos de economias de custos. Segundo a Vice-Presidência de Seis Sigma da corporação, existem programas de redução de custos muito mais baratos que o Seis Sigma, o qual se constitui em um programa que mobiliza intensivamente os recursos de treinamento e requer anos para ser assimilado pela companhia.

Entretanto, a busca sobre informações a respeito de eventuais iniciativas de se implementar o sistema de Manufatura Enxuta na Bombardier trouxe um resultado totalmente inesperado e surpreendente: um parecer emitido por um consultor independente, Richard Schonberger, presidente da firma *Schonberger & Associates, Inc.*, que tem escrito e ministrado cursos e palestras sobre *Lean Manufacturing* desde o início da década de 1980.

Neste parecer, Schonberger relata que, em uma avaliação realizada em seus mais recentes “estudos sobre o estado *lean* das principais empresas canadenses”, a Bombardier recebeu o grau F, último lugar, em uma classificação que contempla as melhores empresas com um A. Resumidamente, em análises que fazem uso de informações sobre o desempenho na gestão dos estoques de cerca de mil empresas, localizadas em 27 países, e que, por exemplo, classificaram com A as empresas canadenses Alcan, Canadian Tire e Moore Group (dentre as 73 companhias estudadas daquele país), a Schonberger & Associates adota um princípio bastante simples, mas muito eficaz: *lean* pode ser, de fato, muitas coisas, mas o tamanho do estoque é a medida mais visível de uma empresa enxuta. Uma companhia é *lean* na proporção inversa das dimensões de seus estoques e na proporção direta da rotatividade dos mesmos (*inventory turnover*). Quanto maiores os estoques e/ou quanto menor for a rotatividade deles, tanto menor terá sido a eficiência na implantação ou na gestão dos princípios *lean*. Para evitar “modismos” e estabelecer uma base confiável de comparação, a Schonberger & Associates utiliza dados coletados durante um período de, no mínimo, 15 anos, analisando tendências e evitando o uso de dados que sejam frutos de esforços esporádicos. Esta classificação em A, B, C, D, E e F representa que, por exemplo, as companhias que recebem um A têm apresentado uma tendência positiva, de constante aumento da rotatividade de seus estoques, durante 10 anos, no mínimo. As companhias que são classificadas com B chegaram a apresentar 10 ou mais anos de melhorias em sua rotatividade de estoques, mas estagnaram ou retrocederam um pouco nos cinco a sete anos mais recentes. Elas tiveram um bom princípio *lean*, mas acabaram se perdendo no caminho. As empresas que não têm apresentado uma clara tendência de melhoria recebem um C, enquanto que D é a classificação reservada às companhias que já experimentaram um bom período de melhorias, mas cujos índices de rotatividade dos estoques têm registrado uma diminuição ao longo dos últimos 10 anos ou mais. A

classificação F é atribuída às companhias que têm apresentado uma tendência à diminuição da rotatividade dos estoques durante um período de tempo muito longo (15 anos ou mais).

Na avaliação particular de Richard Schonberger: “a Bombardier tem tido um grande apetite por dinheiro durante o seu constante declínio de 15 anos na rotatividade de estoques. Para pagar por seus estoques inchados, inflacionados, a Bombardier tem feito uso de seus rendimentos, tem emprestado dinheiro ou tem diluído seu controle acionário por meio de vendas de suas ações”. E a *Schonberger & Associates* enfatiza, ainda, que esta má gestão de seus estoques tem colocado a Bombardier sob o escrutínio de analistas da Bolsa de Valores de Toronto, os quais monitoram um índice considerado até mais importante do que os rendimentos da empresa: o seu fluxo de caixa.

Resumindo a exposição e a discussão dos resultados referentes à implementação do Sistema de Manufatura Enxuta na Bombardier, e buscando evitar prolongar-se na discussão das causas, cujo teor investigativo foge ao escopo deste presente trabalho, bem como dos possíveis resultados da deliberação tomada pela empresa, o autor acha por bem registrar que a decisão da Bombardier como Corporação foi a de não adotar quaisquer vínculos com o que se possa classificar formalmente como *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, conforme exposto ao início deste subcapítulo.

5.5 EMBRAER



5.5.1 Origens da Embraer

A Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.) é uma empresa líder no setor aeroespacial, com 34 anos de experiência em projeto, desenvolvimento,

fabricação, venda e suporte pós-vendas de aeronaves destinadas aos mercados globais comercial, de defesa e corporativo. Sediada em São José dos Campos, estado de São Paulo, e com escritórios e bases de serviços ao cliente na Austrália, China, França, Cingapura e Estados Unidos, a empresa, desde o final do primeiro trimestre de 2003, emprega cerca de 12.400 pessoas, estando entre os principais exportadores brasileiros e contribuindo para a geração de mais de 3.000 empregos indiretos. Em 30 de junho de 2003 sua carteira de pedidos firmes montava a 10,3 bilhões de dólares.

Tendo sido criada em 1969 como empresa estatal de capital misto, a Embraer foi privatizada em 1994. Seus atuais controladores detêm 60% do capital votante, distribuído entre a Cia. Bozano e os fundos de pensão PREVI e SISTEL.

Em 1999, a Embraer formalizou uma aliança estratégica com um grupo formado pelas maiores empresas aeroespaciais européias - *Dassault Aviation*, *EADS*, *Snecma* e *Thales*, que adquiriram 20% do capital votante da empresa. Além de facilitar o acesso a novas tecnologias, alianças desse tipo incrementam os processos de fabricação e desenvolvem novos mercados para os produtos da empresa.

Até o momento de fechamento deste trabalho a Embraer já havia entregue mais de 5.500 aviões, que estão em operação nos diversos pontos do globo. Tendo uma base global de clientes e importantes parceiros de renome mundial, a Embraer desfruta de uma significativa participação no mercado de jatos regionais de até 50 passageiros – em torno de 45%, conforme dados da própria empresa.

5.5.1.1 Unidades Fabris da Embraer

- **Matriz - Unidade BFL - São José dos Campos, SP**

A unidade controladora está sediada no Brasil, em São José dos Campos, a 90km da capital paulista. Essa unidade projeta, fabrica e dá suporte a aeronaves para

os mercados de aviação comercial, executiva e de defesa. Com 263 mil metros quadrados de área construída, emprega atualmente mais de 11 mil funcionários.

- **Unidade Eugênio de Melo, Distrito de Eugênio de Melo, SP**

Um terreno de 340 mil metros quadrados, com área construída de 45 mil metros quadrados, abriga as atividades de desenvolvimento e fabricação de ferramental, fabricação de tubos, solda e serralheria, além de grandes cablagens (montagem de chicotes elétricos).

Esta unidade, localizada no município de Eugênio de Melo, São Paulo, entrou em operação em janeiro de 2001.

- **ELEB, São José dos Campos, SP**

A ELEB - Embraer Liebherr Equipamentos do Brasil S.A., nasceu de uma *joint venture* em 1999 entre a Embraer - Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. e o grupo *Liebherr International AG*, com sede em Bulle, na Suíça. Porém sua história remonta ao ano de 1984, quando iniciou suas atividades de engenharia e manufatura, na época como uma Divisão da Embraer - chamada EDE (Embraer Divisão Equipamentos).

Tendo como foco de atuação o mercado aeroespacial, nos segmentos de aviação regional, aviação executiva, comercial e de defesa, a empresa utiliza tecnologia de ponta para desenvolver, produzir e fornecer suporte pós-venda para seus produtos principais: sistemas de trem de pouso, componentes hidráulicos e eletromecânicos, tais como atuadores, válvulas, acumuladores e pilones.

Com cerca de 440 funcionários (dados de setembro de 2003) e um faturamento de mais de 85 milhões de reais anuais (previsão para 2003, ainda não confirmada até o encerramento da coleta de dados para este trabalho), a ELEB está investindo em

programas de expansão e novas tecnologias para conquistar cada vez mais seu espaço no mercado internacional.

Graças a sua tecnologia e inovação, a empresa tem participado de importantes programas mundiais na área aeroespacial, fornecendo sistemas integrados para o caça bombardeiro AM-X, a família Embraer de jatos regionais ERJ 135/140/145, o helicóptero Sikorsky S-92, o avião de treinamento e ataque leve Super Tucano/ALX, a família de jatos comerciais EMBRAER 170/190, o helicóptero militar norte-americano RAH 66 Comanche e o avião de treinamento italiano Aermacchi M346, entre outros programas.

Seu histórico de certificações a revela como uma empresa de classe mundial: ISO 9001:2000, ISO 14001, Boeing D1-4426, Sikorsky S-2000, RBHA 21 (semelhante a FAR/JAR 21), RBHA 145 (semelhante à FAR/JAR 145), Liebherr AS/EN 9100, Helibrás PQ-06-01 e normas relacionadas às Forças Armadas do Brasil, entre elas Exército (NEB/T Pr 01/96), Aeronáutica (65-2) e Marinha.

A ELEB trabalha com um time de desenvolvimento de produto integrado utilizando sistemas do tipo CATIA & CAD-CAM / FEA de última geração para análise e simulação. Possui também completas instalações de laboratórios de ensaio e áreas para teste, contando com um moderno Centro de Serviços, capacitado para oferecer serviços de manutenção e reparo (MRO) para o mercado aeroespacial e toda a sua linha de produtos. A ELEB também oferece serviços especiais, tais como tratamento térmico e tratamento superficial (inclusive *shotpeening*).

- **Unidade de Gavião Peixoto – Gavião Peixoto, SP**

Tendo iniciado suas operações em outubro de 2001, essa unidade abriga as atividades de montagem final de aeronaves destinadas aos mercados corporativos e de defesa, contando também com a maior pista para ensaios em voo da América

Latina. Localiza-se no município de Gavião Peixoto, no interior do estado de São Paulo.

- **Indústria Aeronáutica Neiva, Botucatu, SP**

A Neiva é uma das mais importantes subsidiárias da Embraer, responsável pela fabricação do EMB 120 Brasília, além de aeronaves leves e componentes e subconjuntos para a família ERJ 145. Instalada em Botucatu, São Paulo, tem 21 mil metros quadrados de área construída e uma equipe de mais de 1.000 empregados.

- **Harbin Embraer Aircraft Industry Company LTD, China**

Com suas operações industriais iniciadas em meados de 2003, esta *joint-venture* da Embraer na China, criada em parceria com a fabricante chinesa *Aviation Industry Corporation II (AVIC II)*, é dedicada, inicialmente, à montagem de aeronaves da família ERJ 145/140/135 para as empresas chinesas de transporte aéreo regional, podendo também vir a suprir eventuais novos clientes do mercado asiático. Segundo declarações da Embraer a programação inicial para para a Harbin é bastante conservadora, planejando-se fabricar 24 jatos ERJ 145 por ano, com a entrega de oito exemplares em 2004, e enfatizando-se que a prioridade não é a cadência de produção.

5.5.1.2 Parcerias Estratégicas

Para os programas de jatos comerciais, executivos e produtos de defesa a Embraer, nas palavras de seu presidente, segue uma bem traçada política de parcerias, com alguns dos maiores e mais importantes fabricantes e fornecedores aeroespaciais do mundo. Exemplo disso é a parceria feita com o grupo Liebherr International AG, com sede em Bulle, na Suíça, para a criação da ELEB - Embraer

Liebherr Equipamentos do Brasil S.A., uma empresa que gera ainda mais oportunidades de negócios nos segmentos de trens de pouso e componentes hidráulicos.

5.5.2 A Nova Família de Jatos Regionais – EMBRAER 170, 175, 190 e 195

Formalmente apresentada ao mundo durante o Paris Air Show de 1999, esta nova família de aeronaves a jato dedicadas à faixa de 70 a 110 passageiros do transporte aéreo regional representa a entrada da Embraer em mais um mercado de intensa competição, no qual também se confrontam os “segmentos de menor porte” dos dois maiores fabricantes de aeronaves comerciais do mundo: a Airbus e a Boeing.

Para melhor ilustração deste conceito de família de aeronaves que caracteriza o programa EMBRAER 170/190, vistas laterais das mesmas são mostradas a seguir, nas Figuras 71 a 74.



Fonte: Embraer

MTOW: 37.200kg

Figura 71 - EMBRAER 170 (ERJ 170-100) - 69 a 78 assentos



Fonte: Embraer

MTOW: 38.790kg

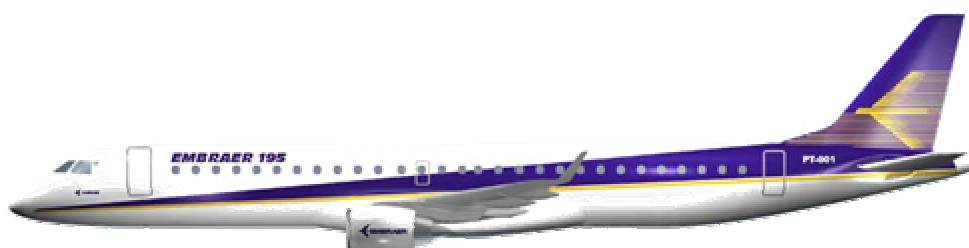
Figura 72 - EMBRAER 175 (ERJ 170-200) - 78 a 86 assentos



Fonte: Embraer

MTOW: 45.990kg

Figura 73 - EMBRAER 190 (ERJ 190-100) - 98 a 110 assentos



Fonte: Embraer

MTOW: 49.990kg

Figura 74 - EMBRAER 195 (ERJ 190-200) - 108 a 114 assentos

A campanha de certificação do EMBRAER 170 prossegue com intensidade, mantendo-se o objetivo de se ter a certificação definitiva do modelo no primeiro trimestre de 2004, após mais de 1.200 horas de ensaios em voo, utilizando seis aeronaves “pré-série”, suportadas ainda por ensaios no solo de estruturas (cargas e fadiga) e sistemas diversos, efetuados em outros dois protótipos não-voáveis. O EMBRAER 175 realizou com sucesso seu voo inaugural em 14 de junho de 2003, e sua certificação deve ocorrer no segundo trimestre de 2004. O programa de certificação do EMBRAER 190 está previsto para o terceiro trimestre de 2005, seguido pela certificação do EMBRAER 195 no segundo trimestre de 2006.

Em 30 de junho de 2003 a família EMBRAER 170/190 contabilizava 244 pedidos firmes e 309 opções de compra feitos pela SWISS, Air Caraïbes, Alitalia, GECAS, LOT, US Airways e JetBlue.

Segundo a própria Embraer, a versatilidade de missão, a eficiência operacional e o avançado interior de cabine oferecidos pela nova família de jatos EMBRAER 170/190 permitem às companhias aéreas operar estas aeronaves em diversos mercados, nos quais os jatos de 70 a 110 assentos representam a evolução natural desde os tradicionais aviões regionais – uma opção para ajustar o tamanho da frota em combinação com equipamentos maiores, além de um salto qualitativo que permite às empresas de baixo custo expandir sua presença em mercados médios.

Recentemente a Embraer lançou um novo site na Internet introduzindo a “Regra 70-110,” sobre a crescente tendência do mercado de aviação comercial para a utilização de aeronaves na faixa dos 70 a 110 assentos. Neste novo site detalham-se, sob o ponto de vista desta empresa, os quatro pontos cruciais com os quais o transporte aéreo comercial se defronta atualmente: o hiato existente entre capacidade e demanda; o fato das novas oportunidades existentes no mercado excederem os limites dos jatos regionais; o fato de que mais de um terço da frota atualmente em serviço tem mais de 20 anos; e o excesso de capacidade na maioria das rotas.

5.5.3 Características de Fabricação e Montagem na Embraer

Tendo inicialmente apresentado características bastante convencionais, próprias das indústrias aeronáuticas das décadas de 1960 a 1980, tanto em termos de equipamentos e processos de manufatura quanto em termos de cadeias de suprimentos e interfaces logísticas, a Embraer começou a introduzir mudanças significativas em suas técnicas de manufatura e gestão logística de recursos com a participação no programa militar do jato de ataque AM-X, que representou um grande salto tecnológico para a empresa, pois se tratava de trabalhar em um consórcio ítalo-brasileiro de três empresas (junto com as italianas Alenia e Aermacchi), projetando-se

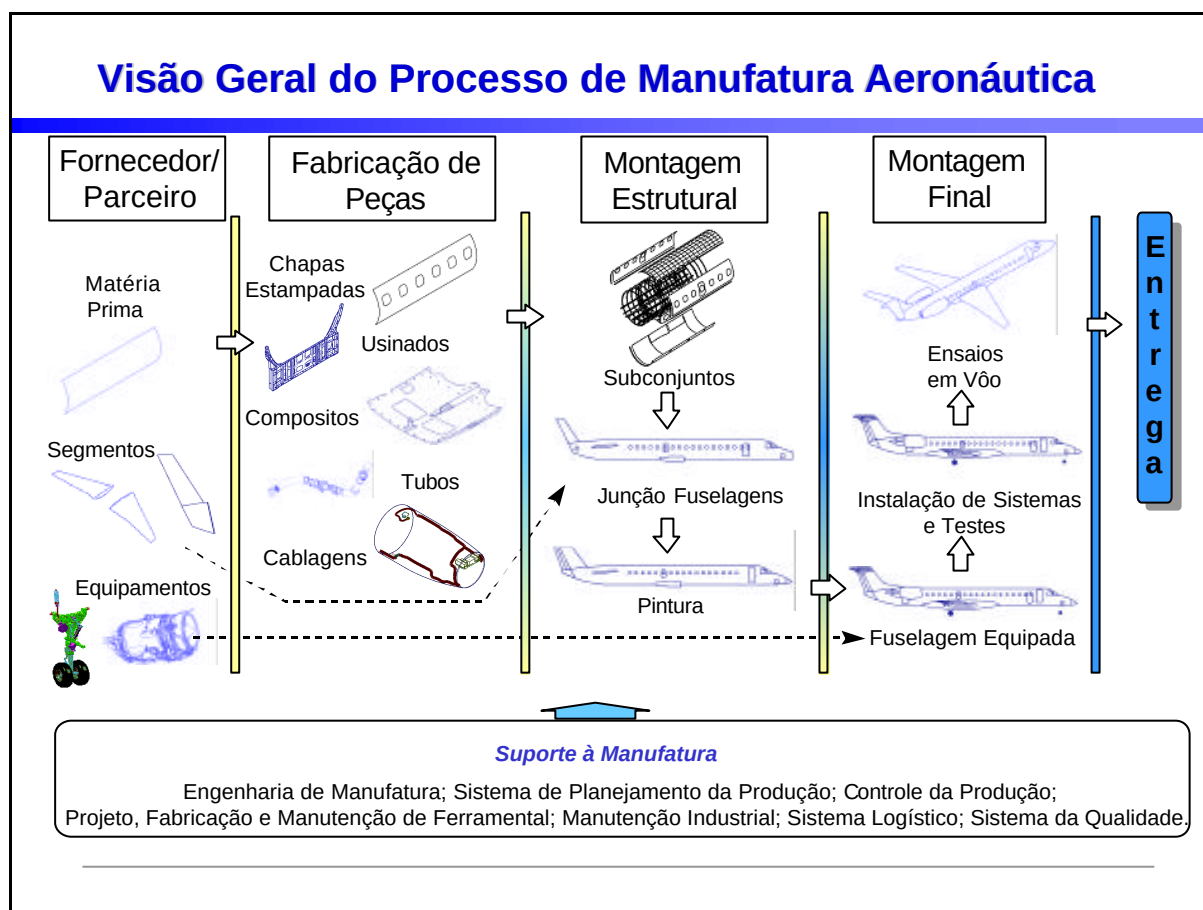
integradamente partes da aeronave e, implementada a fabricação, se exportar e importar, regularmente, peças, conjuntos e segmentos completos.

Tal evolução, associada à necessária modernização das técnicas computacionais de engenharia e dos sistemas de aquisição e processamento dos dados de ensaios, foi de vital importância no lançamento dos subsequentes programas civis, de aeronaves para o mercado de transporte regional, como a família de jatos ERJ 145/140/135, responsável pelo grande sucesso da Embraer neste mercado, no qual atingiu uma participação de até 45% de todas as aeronaves comercializadas.

O progresso das técnicas de manufatura teve que ser, necessariamente, acompanhado pela pesquisa e desenvolvimento da aplicação de novos materiais, sendo notável a evolução alcançada pela Embraer na utilização de compósitos - que influenciou desde o projeto de partes das aeronaves de forma adequada às características e propriedades dos novos materiais, passando pela usinagem, conformação em autoclaves e técnicas de inspeção por ultrassom, e foram seguidas de perto pela evolução técnica do processamento de peças metálicas, com a implantação da usinagem em alta velocidade (*high speed machining*) de ligas de alumínio e os tratamentos superficiais de chapas e peças usinadas, como o *shotpeening* e anodização crômica, para citar somente alguns.

O processo de fabricação adotado pela Embraer pode ser genericamente representado pela Figura 75, a seguir, que apresenta uma visão geral das etapas envolvidas no Processo de Manufatura de uma aeronave ERJ-145, desde o fornecimento da matéria-prima, dos segmentos e dos equipamentos (por parte de fornecedores e parceiros), passando pela fabricação de peças e componentes (chapas conformadas, peças usinadas, materiais compostos, tubos e cablagens elétricas, por exemplo), pela montagem estrutural (envolvendo a montagem e instalação dos subconjuntos, a instalação dos segmentos – como asa, empenagem vertical e horizontal, etc – a junção dos segmentos da fuselagem e a pintura, até chegar à

montagem final (com suas atividades correlatas de instalação de equipamentos, instalação e testes de sistemas, instalação do interior, etc) seguida dos testes em vôo, da conformidade final e da entrega ao cliente.

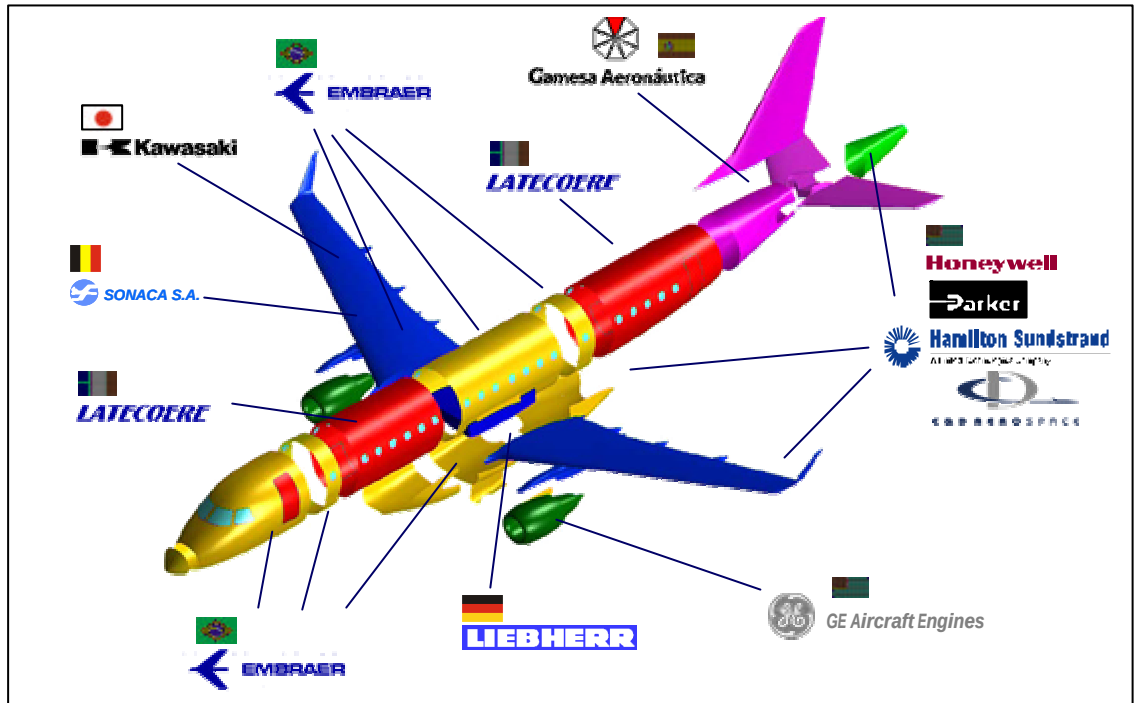


Fonte: Embraer

Figura 75 - Processo de Manufatura Aeronáutica – ERJ 145

Outro grande aprimoramento no processo de manufatura da Embraer foi a adoção, em larga escala, do Empreendimento em Parcerias de Negócio (*Business Partnership Enterprise*), embasado nas bem-sucedidas experiências com os projetos anteriores AM-X e ERJ-145, onde as aeronaves são produzidas em uma relação de parceria, por meio de um compartilhamento do trabalho (*work sharing*) e dos riscos (*risk sharing*) envolvidos no negócio, e que atingiu seu clímax no Programa EMBRAER 170/190. Tanto as atividades de projeto quanto as de manufatura estão compreendidas neste compartilhamento do trabalho, que, juntamente com a

identificação das empresas que efetivamente compõem esta relação de parceria com a Embraer, pode ser melhor visualizado nas Figuras 76 e 77, localizadas abaixo.



Fonte: Embraer

Figura 76 – Empresas Parceiras nos EMBRAER 170/175



Fonte: Embraer

Figura 77 - Origem dos Parceiros no Programa EMBRAER 170/190

5.5.4 Iniciativas *Lean* na Manufatura Embraer

Tendo sido operacionalizado no final de 1998, o Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta no *Wing Stub* do ERJ-145 envolveu a transformação do Processo de Fabricação original, presente e atuante desde o início da fabricação dos *Wing Stub* em 1996, em um Processo de Manufatura Enxuta que pudesse responder devidamente às condições vigentes de demanda de mercado. Esta implementação recebeu a classificação de Projeto-Piloto, servindo de base tanto para a validação dos conceitos aprendidos quanto para o aperfeiçoamento da própria metodologia de implementação e treinamento.

A escolha do Processo de Manufatura do *Wing Stub* como Projeto-Piloto para o Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta na Embraer (ou Projeto Manufatura Enxuta, como ficou mais conhecido) foi resultante da própria Estratégia de Implementação adotada pela empresa, como pode ser visto a seguir:

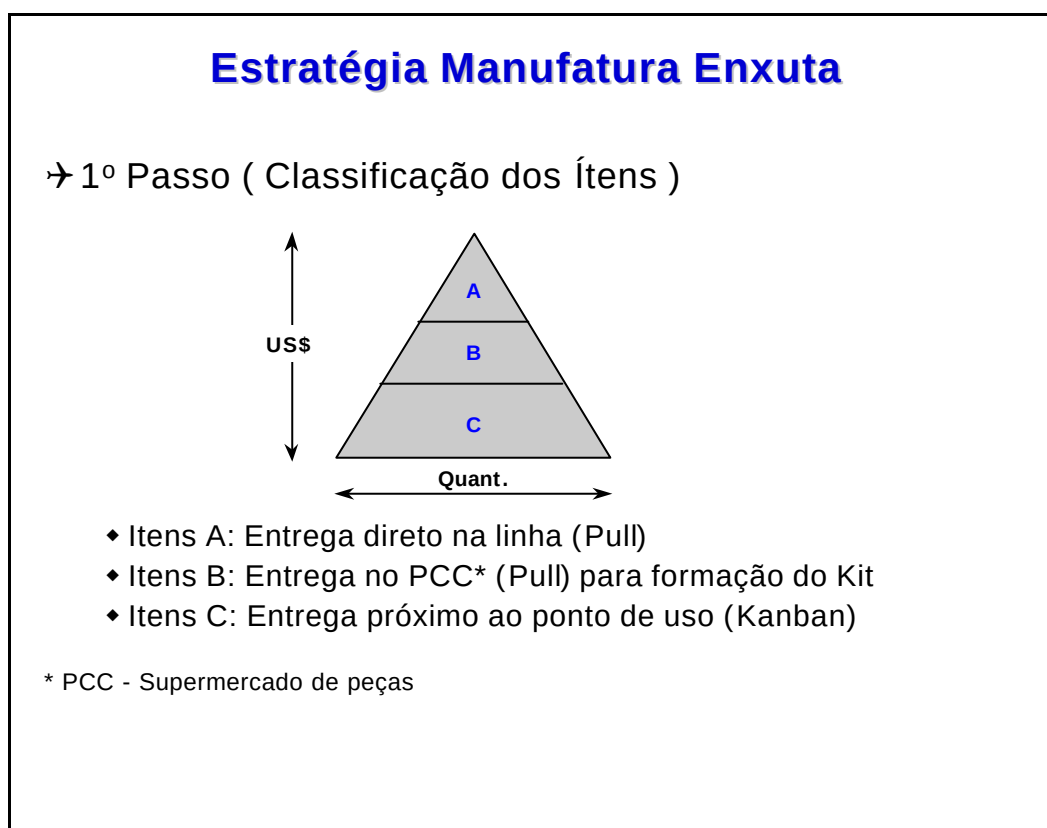
Consoante com o Desdobramento das Políticas de Manufatura que elencaram o Sistema de Manufatura Enxuta, os principais objetivos do Projeto Manufatura Enxuta eram:

- A Redução do Ciclo de Fabricação;
- O Aumento da Produtividade e da Flexibilidade;
- A Melhoria do Fluxo de Processo;
- A Redução do Material em Processo (*WIP*);
- A Redução da Movimentação e Transporte; e
- A Redução dos Índices de Sucata e Retrabalho.

Estes objetivos seriam atingidos através de iniciativas e ações norteadas pela Estratégia de Implementação da Manufatura Enxuta, que adotou como primeiro passo o princípio de se classificar os itens de acordo com os parâmetros da Curva ABC, sendo os itens categoria A aqueles de maior valor intrínseco e menor quantidade, os

itens categoria B os de valor e quantidade intermediários, e os itens categoria C representados por aqueles de menor valor e grande quantidade (comumente abrangendo *hardwares* como prendedores, rebites, pinos, buchas, anéis de vedação, etc).

À cada uma destas categorias seria dado um tratamento específico em termos de disponibilização para o uso, diferenciando-as, como pode ser visto na Figura 78, localizada abaixo, em itens que seriam entregues diretamente na linha, itens que seriam entregues sob a forma de kits e itens entregues no ponto-de-uso, em um sistema *Kanban*.

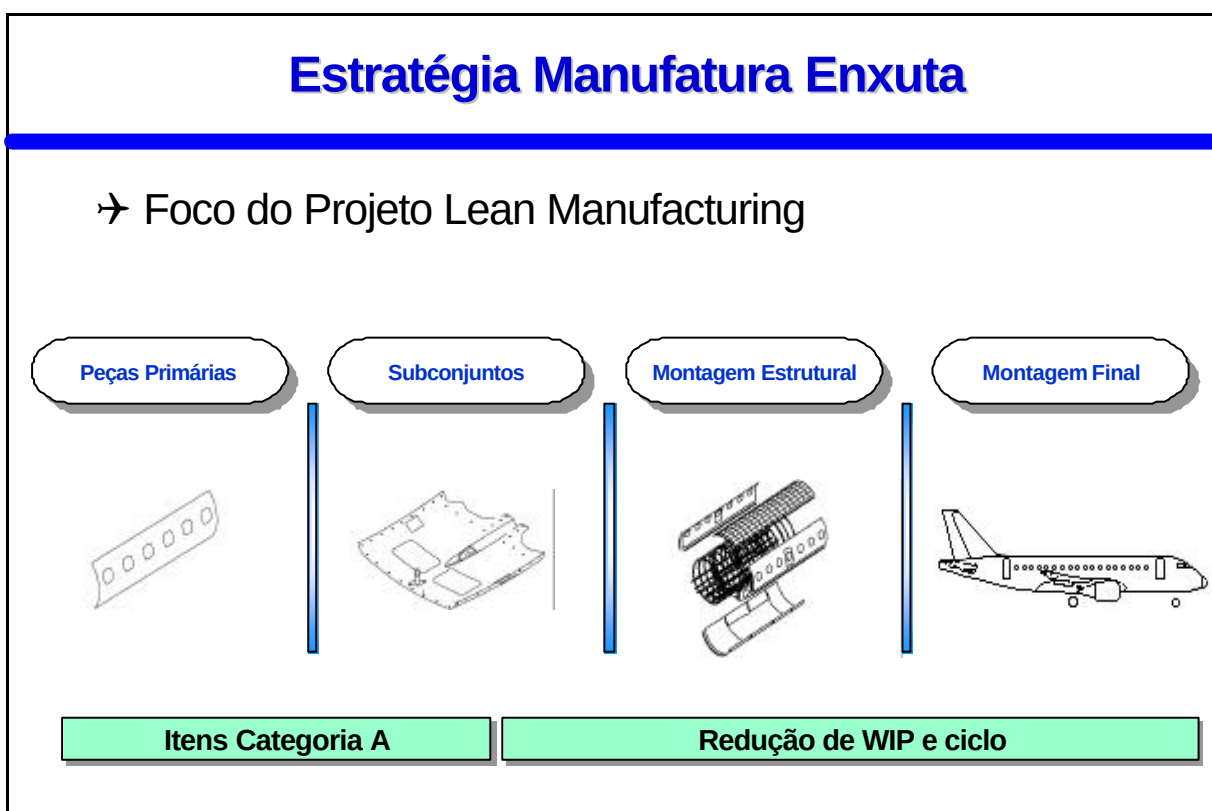


Fonte: Embraer

Figura 78 - Classificação dos Itens em Categorias

Dessa maneira, a Estratégia Manufatura Enxuta sinalizou que o Foco Inicial do Projeto *Lean Manufacturing* (ou Projeto Manufatura Enxuta) deveria ser sobre os itens Categoria A nas áreas de Fabricação de Peças Primárias e de Subconjuntos,

enquanto que as áreas de Montagem Estrutural e Montagem Final, bem como parte da área de Subconjuntos, receberiam, ao mesmo tempo, maior esforço no tocante a Redução de *WIP* e de Ciclos de Montagem, como pode ser visto na Figura 79 abaixo. A atuação sobre estes parâmetros foi avaliada, portanto, como sendo a de maior retorno para os recursos empregados e a de melhor resultado no Processo Produtivo Global da Empresa.

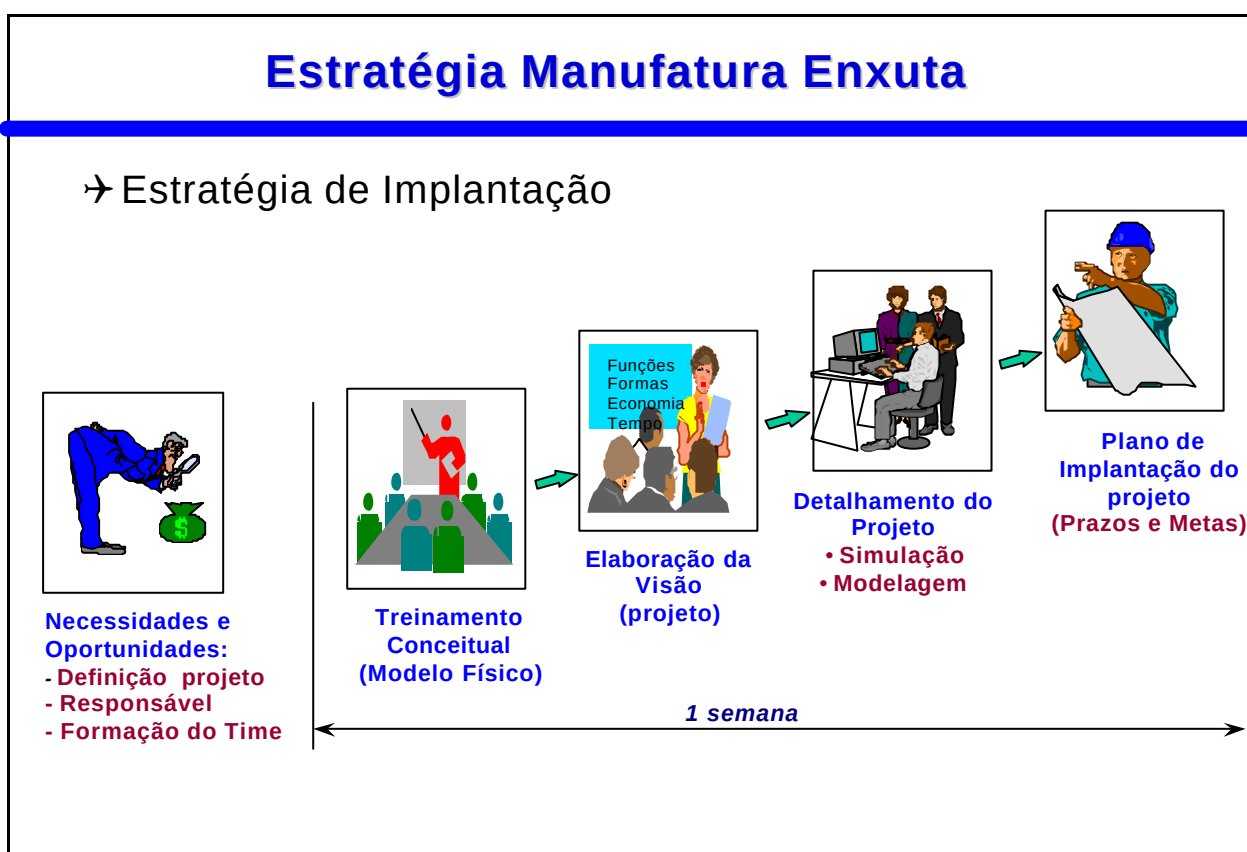


Fonte: Embraer

Figura 79 - Foco do Projeto Manufatura Enxuta

Uma vez definidos os Objetivos, a Estratégia e o Foco Inicial do Projeto de Implementação da Manufatura Enxuta, restava ainda o Detalhamento da Estratégia de Implantação, com a definição das ações em escala macro, devidamente dispostas ao longo do tempo.

A Estratégia resultante deste detalhamento (representada na Figura 80 abaixo) estimava que, a partir da Definição do Projeto, do Responsável e da composição do Time de Trabalho encarregado da condução do Projeto, itens decorrentes do Estudo Preliminar das Necessidades e Oportunidades, seria necessária cerca de uma semana – de trabalhos interdepartamentais e interdisciplinares – para terem-se completados o Modelo Físico do Treinamento Conceitual, a Elaboração da Visão do Projeto, o Detalhamento do Projeto (com as necessárias Simulação e Modelagem) e, finalmente, o Plano de Implantação do Projeto, com Prazos e Metas adequadamente definidos e acordados entre os envolvidos no processo.



Fonte: Embraer

Figura 80 - Estratégia de Implantação

Face os resultados extremamente positivos obtidos com a implementação do Sistema de Manufatura Enxuta na fabricação em células de manufatura do *Wing Stub* do ERJ-145, como a redução do ciclo de fabricação e montagem do *Wing Stub* em

55%, de 60 para 27 dias, a redução do estoque de Material em Processo (*WIP*) em 51%, de 720 mil dólares para 350 mil dólares, a diminuição da movimentação entre Centros de Trabalho em 45%, de 113 deslocamentos para 62, e a redução da movimentação entre prédios em 78%, passando de 46 para dez, sem mencionar as grandes melhorias obtidas no aspecto visual dos Centros de Trabalho e na disponibilização da matéria-prima em kits nos pontos de uso, a Embraer deliberou por estender a implantação do Sistema para todas as suas áreas de manufatura. Este fato, conjugado com as grandes verbas direcionadas, a partir de 1998, para a reforma e a modernização dos processos e equipamentos industriais da empresa, resultou na generalização das melhorias por diversas áreas da companhia, alçando o Sistema de Manufatura Enxuta ao nível de Estratégia Corporativa da Manufatura Embraer. Alguns exemplos das melhorias obtidas com a implementação da Filosofia Lean na empresa podem ser verificados na Tabela 2 abaixo e nas Figuras 81 a 85 a seguir, referentes aos projetos implantados nas áreas de Wing Stub do ERJ-145, Painéis de Revestimento da Fuselagem, Carenagens, Amortecedor do Trem de Pouso Principal, Cablagens Elétricas e Cavernas.

Tabela 2 - Resultados *Lean* no Ciclo de Produção e na Produtividade

Ciclo de Produção das Aeronaves	
1989 = 12 meses	2000/2001 = 5,7 meses
Produtividade da Mão de Obra de Montagem	
1989 = 15Hh/kg	2000/2001 = 6,1Hh/kg

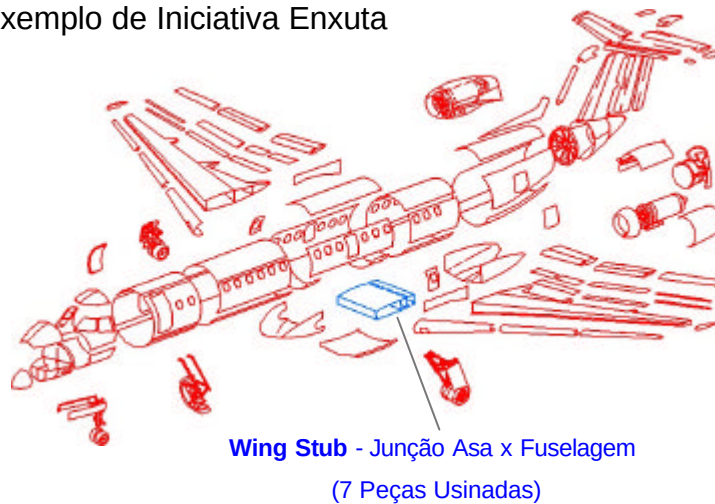
Fonte: Embraer

Faz-se necessário comentar, para melhor interpretação dos dados constantes da tabela acima, que a expressão da produtividade da mão de obra em homens-hora por quilograma de estrutura montada é prática corrente na indústria aeronáutica, assim

como a valoração de estimativas de custos de fabricação em dólares por kg de estrutura manufaturada/processada.

Projeto Implantado – Wing Stub

→ Exemplo de Iniciativa Enxuta



Plano de Transformação da Manufatura (CAPACITA)

Pág 8

Fonte: Embraer

Figura 81 - Wing Stub – ERJ-145

Projeto Manufatura Enxuta na Embraer Wing Stub

→ Carro de transporte do conjunto de Peças



Plano de Transformação da Manufatura (CAPACITA)

Pág 12

Fonte: Embraer

Figura 82 - Kit de peças do Wing Stub

Projeto Manufatura Enxuta na Embraer Projetos Implantados

Revestimento da Fuselagem



✓ Área de entrada demarcada



✓ Redução WIP US\$ 260.000

✓ Ciclo 42 dias p/ 19 dias

Pág 18

Fonte: Embraer

Figura 83 - Melhorias na Fabricação do Revestimento da Fuselagem

Projeto Manufatura Enxuta na Embraer Projetos Implantados

Carenagem



✓ Redução WIP US\$ 600.000

✓ Movimentação: de 6,5 Km para 1,2 Km/pç

Amortecedor



✓ Redução WIP US\$ 50.000

✓ Ciclo redução 50 %

Pág 19

Fonte: Embraer

Figura 84 - Melhorias nas Áreas de Carenagem e Amortecedor



Fonte: Embraer

Figura 85 - Melhorias nas Áreas de Cablagens e Cavernas

5.5.5 O Sistema de Montagem Final em Docas

Durante os diversos estudos feitos para a implementação da Manufatura Enxuta na Embraer foi detectado que as técnicas utilizadas para a Montagem Final das aeronaves se constituíam, na verdade, em um grande gargalo, não contribuindo para que os ganhos efetivos de tempo obtidos em todos os processos anteriores resultassem no encurtamento do ciclo total e na disponibilização mais rápida das aeronaves para os clientes, principalmente com a ocorrência cada vez mais freqüente de alterações das prioridades e dos cronogramas de entrega.

A Embraer, então, decidiu-se por adotar um sistema de docas para a montagem final das aeronaves da família EMBRAER 170/190, sendo que as maiores dimensões das novas aeronaves e a maior flexibilidade permitida por este *layout* foram os fatores determinantes para a sua adoção. Com o sistema de docas a aeronave

permanece estacionária desde o início da montagem final até o seu final, não precisando ser movimentada de uma estação para outra para que sejam completadas as diferentes operações de montagem, como ocorre em uma linha de montagem tradicional.

O sistema de Montagem Final em Docas oferece, segundo a Embraer, a máxima flexibilidade de trabalho, permitindo a montagem simultânea de várias aeronaves em diferentes ciclos e podendo adaptar-se às mudanças no *output* de produção, sem interromper ou prejudicar a cadeia de montagem implementada. Neste sistema as seguintes atividades são realizadas nas docas de montagem final:

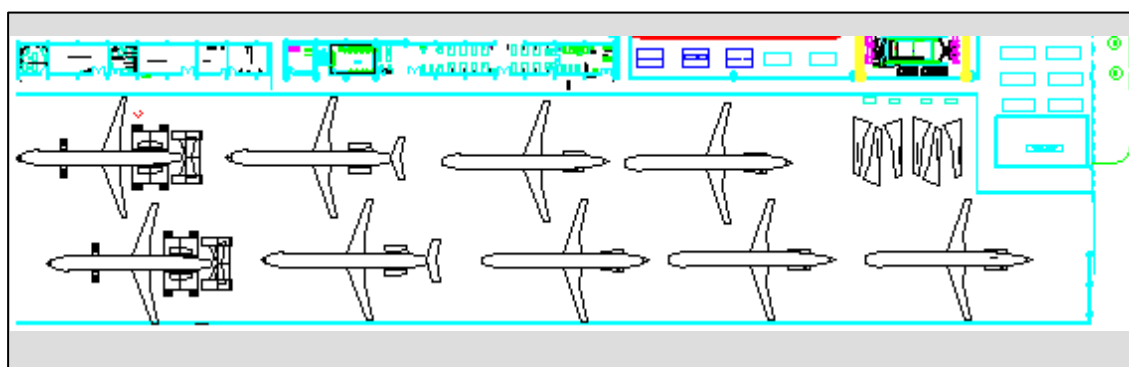
- instalação das semi-asas, dos estabilizadores horizontais e verticais, profundores e leme de direção;
- instalação do trem de pouso principal;
- instalação dos motores e de suas naceles;
- instalação da Unidade Auxiliar de Potência – *APU (Auxiliary Power Unit)*;
- instalação dos equipamentos do cockpit (assentos, máscaras de oxigênio, etc), assentos da cabine de passageiros, *galleys*, toiletes e equipamentos de mobiliário em geral;
- instalação das carenagens e coberturas plásticas;
- execução da primeira Inspeção Final.

A implantação da Montagem Final em Docas exigiu a construção de um hangar dedicado nas instalações da matriz da Embraer, em São José dos Campos, SP. Equipado com pontes rolantes para movimentar grandes segmentos estruturais para as docas de montagem, áreas de estocagem para componentes, sistemas e itens estruturais necessários para montagem imediata, além de escritórios para as pessoas envolvidas na produção, este hangar, com uma área construída de 16.000m², tem

suas atividades complementadas por um novo hangar de pintura, de 4.000m² de área coberta, e uma área de estacionamento de aeronaves acabadas, de 22.000m².

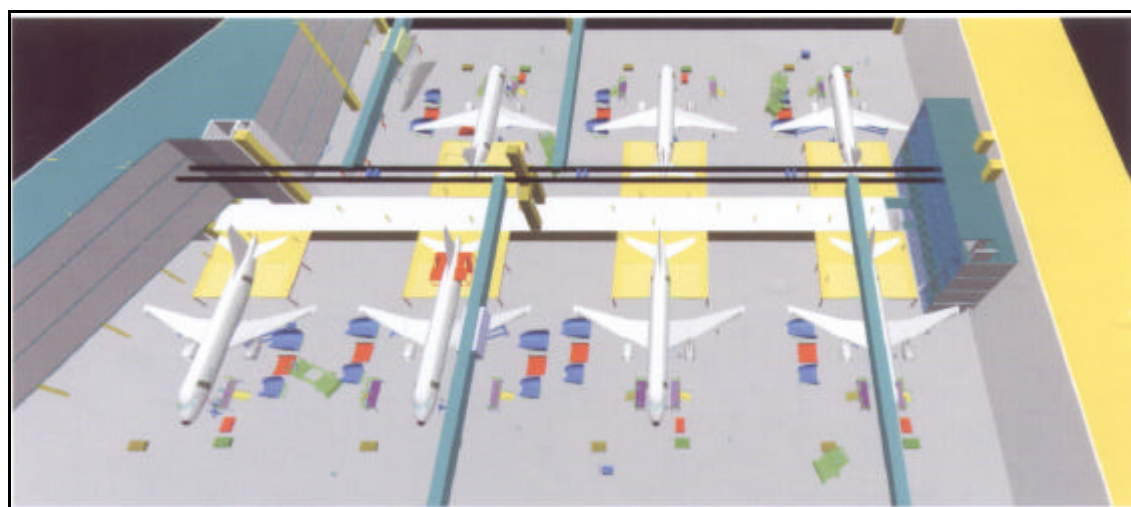
A Figura 86, abaixo, ilustra como era o *layout* tradicional de montagem em linha, mostrando esquematicamente o hangar de montagem final das aeronaves da família ERJ-135/140/145.

As figuras 87 a 90, a seguir, mostram como é o *layout* do Hangar de Montagem Final da Embraer, com as aeronaves ilustradas em suas docas e as plataformas de trabalho devidamente montadas.



Fonte: Embraer

Figura 86 - Antigo *layout* de montagem em linha – ERJ-145



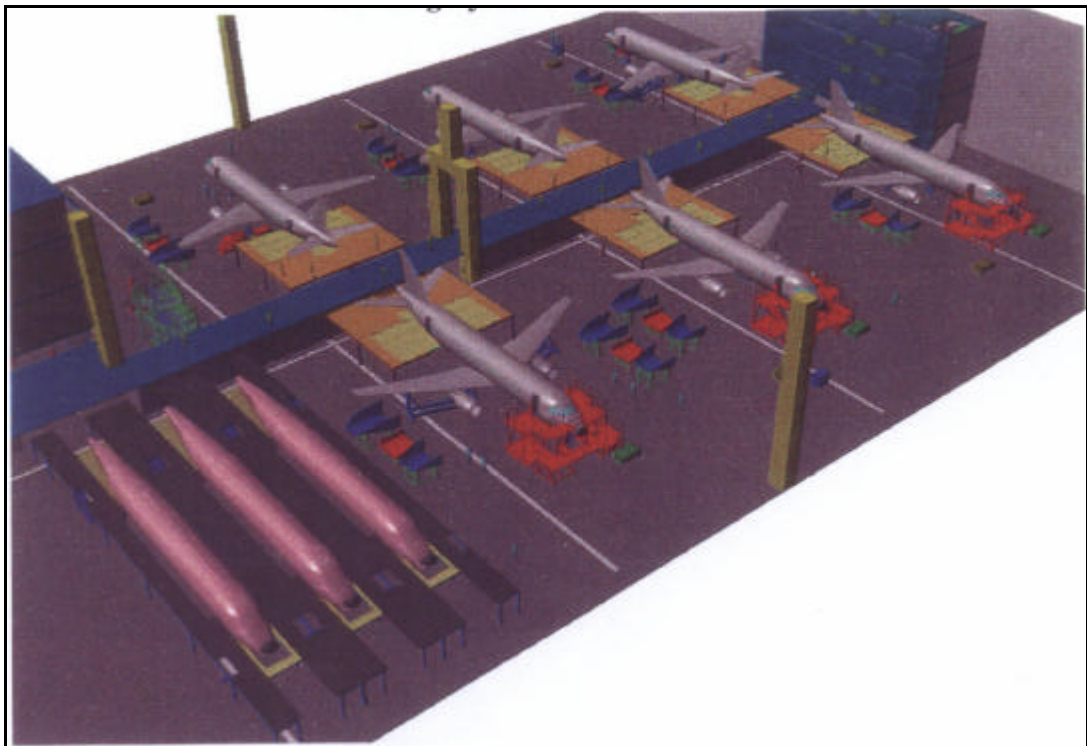
Fonte: Embraer

Figura 87 - Montagem Final em Docas – vista superior – EMBRAER 170/190



Fonte: Embraer

Figura 88 - Montagem Final em Docas – vista lateral – EMBRAER 170/190



Fonte: Embraer

Figura 89 - Visão Geral das Docas de Montagem – EMBRAER 170/190



Fonte: Embraer

Figura 90 - Montagem das Aeronaves nas Docas – EMBRAER 170

Apesar do sistema de Montagem Final em Docas ter aparentemente atendido às necessidades da Embraer em termos de eliminação de uma séria restrição ao fluxo do valor, aumentando a capacidade de resposta da empresa às mudanças no *output* de produção (seja por indisponibilidade de segmentos ou equipamentos, seja por solicitação dos clientes) e permitindo a montagem simultânea de várias aeronaves, em diferentes ciclos, sem interromper ou prejudicar a cadeia de montagem implementada, esta busca pela “máxima flexibilidade de trabalho” não deve fazer com que a empresa perca o foco nos objetivos essenciais da Manufatura Enxuta:

A flexibilidade é só um meio para um fim, que é um desempenho melhorado da manufatura. Assim, comece compreendendo os fins antes de se concentrar nos meios. O “fim”, no que concerne à flexibilidade, é uma manufatura confiável de baixo custo e veloz sob

condições de variedade, incerteza e (algumas vezes) ignorância (SLACK, 2002, p.99).

A disposição de aeronaves em docas certamente exige um grande esforço de coordenação do planejamento na integração das informações entre as áreas de vendas, manufatura, finanças e suprimentos (incluindo-se, nesta última, compras, recebimento e logística), pois este *layout* pode permitir se agregar valor simultânea e rapidamente às seis ou mais aeronaves que se encontrem ali dispostas, permitindo também que se aumente rapidamente a quantidade de aviões acabados estacionados nas docas ou no pátio, aguardando que questões legais, comerciais ou logísticas sejam resolvidas para que, então, sejam entregues aos seus compradores. Também se faz notar nesta disposição em docas a conseqüente necessidade de se multiplicar os recursos utilizados na montagem e teste das aeronaves, com todas as implicações em termos de quantidade de matéria-prima, efetivo treinado, manutenção de ferramentas, instrumentos e equipamentos, bem como a disponibilização de terminais e computadores, mencionando-se aqui somente os fatores que vêm mais facilmente à memória.

5.6 JAPÃO

A indústria aeronáutica japonesa, cuja tradição remonta à década de 1920, faz-se representar atualmente por meio de suas três principais indústrias: a Kawasaki, a Mitsubishi e a Fuji, todas ativas participantes de programas aeronáuticos ocidentais na qualidade de subcontratadas de fabricação, ou parceiras no desenvolvimento e na manufatura, de itens que variam de peças e subconjuntos até segmentos completos como asas e seções de fuselagem. São descritas, a seguir, algumas das características principais de cada uma destas indústrias aeronáuticas japonesas.

- *Kawasaki Heavy Industries Ltd. (Kawasaki Jukogyo Kabushiki Kaisha):*

Planta de Gifu (sede da Divisão Aeroespacial):

A planta de Gifu, inaugurada em 1923 como a subplanta de Kakamigahara para a Divisão de Aeroplanos das Docas (Marítimas) Kawasaki, tem se devotado ao desenvolvimento e manufatura de aeronaves desde então. Atualmente, englobando um site de 700.000m² no distrito industrial de Nobi Plains, é uma instalação integrada de engenharia aeroespacial cujas atividades vão de Pesquisa e Desenvolvimento a Manufatura e Operações de Reparo e Manutenção, trabalhando com praticamente todos os tipos de produtos aeroespaciais, desde aeronaves de todos os portes até helicópteros, satélites, foguetes e sondas espaciais.

Plantas de Nagoya:

As plantas 1 e 2 de Nagoya estão ambas localizadas na região costeira industrial do porto marítimo de Nagoya, o que facilita a montagem, em qualquer uma delas, de produtos de grandes dimensões que apresentariam dificuldades no transporte por rodovias.

A Planta 1 de Nagoya foi inaugurada em dezembro de 1992 como uma unidade de manufatura e montagem de componentes estruturais para aeronaves. Atualmente o seu principal trabalho é a montagem de componentes (seções central e traseira da fuselagem, caverna de pressão traseira, *Wing Box* central e nervuras das asas) para os Boeing 777.

A Planta 2 de Nagoya, cujas atividades iniciaram-se em 1979, tem como principal trabalho a montagem de componentes (seções central e traseira da fuselagem e nervuras das asas) para os Boeing 767, aeronave resultante do desenvolvimento conjunto da Boeing e da Kawasaki.

Subsidiária no Brasil:

Em 10 de outubro de 2003 a Kawasaki Aeronáutica do Brasil Indústria Ltda. (KAB), a única fábrica japonesa de aeronaves localizada no estrangeiro, em Gavião Peixoto, SP, enviou as asas do primeiro EMBRAER 190/195 para a Embraer, em São José dos Campos, SP. Tendo sido estabelecida pela Kawasaki em abril de 2002, a KAB começou a montar as asas dos EMBRAER 190 e 195 um ano depois, sendo a primeira fábrica da empresa fora do Japão que produz e monta o conjunto de asas para equipar as aeronaves dos modelos 190/195, da família EMBRAER 170/190. Para operacionalizar esta subsidiária a empresa japonesa realizou um investimento inicial de R\$ 20 milhões, que poderá chegar a R\$ 30 milhões em 2004. A Kawasaki do Brasil está instalada em prédio de cerca de sete mil metros quadrados, construído pela Embraer no Pólo Aeroespacial de Gavião Peixoto, agregando força à indústria aeronáutica brasileira, trazendo investimentos, introduzindo novos processos tecnológicos e gerando empregos. A previsão é que a Kawasaki empregue 120 pessoas quando a produção atingir quatro pares de asas/mês. A planta de Gifu da Kawasaki tem fornecido componentes para as aeronaves EMBRAER 170 e 175 desde abril de 2001, tendo entrado em um contrato de parceria em desenvolvimento e produção do *Wing Box* e de outros componentes das asas da família de aeronaves EMBRAER 170/190, sendo responsável única pelo projeto e manufatura da asa completa dos Embraer 190/195.

- *Mitsubishi Heavy Industries Ltd. (Mitsubishi Jukogyo Kabushiki Kaisha):*

Como uma das pioneiras no campo aerospacial do Japão, a Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) conduz pesquisa, desenvolvimento e manufatura de

aviões, helicópteros, foguetes e satélites, utilizando tecnologias de última geração. A Mitsubishi desenvolveu o primeiro helicóptero civil de propósito múltiplo, o MH2000, com motor e estrutura ineditamente fabricados pela mesma empresa, obtendo a certificação do mesmo em junho de 1997. Internacionalmente a Mitsubishi tem expandido suas relações com a americana Boeing, tendo desenvolvido e fabricado os painéis de revestimento da fuselagem traseira e as portas traseiras e de carga dos Boeing 767 e 777. Ainda para a Boeing, a Mitsubishi tem fornecido, em regime de subcontrato, os flapes internos dos 737 e dos 747, bem como os perfis reforçadores (*stringers*) dos 757-300. A canadense Bombardier também se encontra entre as principais empresas com as quais a Mitsubishi mantém relações de parceria e de fornecimento como subcontratada, neste caso participando do desenvolvimento e da fabricação das asas e da fuselagem central para o jato executivo de alcance extra-longo BD-700 *Global Express* (derivado do CRJ700), das fuselagens central e traseira, além da cauda completa, do turboélice Dash 8 Série 400, da fuselagem traseira dos jatos regionais CRJ700 e 900 e das asas do jato executivo BD-100 Continental.

- *Fuji Heavy Industries Ltd. (Fuji Jukogyo Kabushiki Kaisha):*

Estabelecida em julho de 1953 como sucessora da antiga Nakajima, a planta de manufatura de Utsunomiya ocupa uma área de 153.000m² de instalações cobertas, empregando uma força de trabalho de aproximadamente 2.750 pessoas. Nesta planta a Fuji tem fabricado, como subcontratada, vários componentes para aeronaves comerciais, tais como *ailerons* e *spoilers* internos e externos dos Boeing 747, flapes externos dos 757, carenagens asa/fuselagem e portas dos trens de pouso dos 767 e 777, além do *Wing Box*

frontal dos 777. Esta planta também é subcontratada pela empresa americana Raytheon para fabricar o conjunto completo de asas do jato executivo Hawker Horizon.

A título de observação faz-se necessário registrar a existência de uma organização, denominada *JADC – Japan Aircraft Development Corporation* (Corporação para o Desenvolvimento de Aeronaves do Japão), que nada mais é do que um consórcio estabelecido pelos três maiores fabricantes de estruturas aeronáuticas do Japão, a Mitsubishi, a Kawasaki e a Fuji, e cuja finalidade é promover os negócios relativos às aeronaves comerciais, com o suporte do governo japonês. A divisão proporcional da fabricação de estruturas aeronáuticas (15% dos Boeing 767 e 21% dos 777) é atualmente gerenciada pela companhia-irmã da JADC, a Companhia de Aeronaves Comerciais (CAC – *Commercial Aircraft Company*), que tinha embarcado, até o início de 2003, mais de 900 conjuntos de peças para os 767 e mais de 300 para os 777.

5.6.1 Iniciativas *Lean* na Indústria Aeronáutica Japonesa

Surpreendentemente as poucas informações recebidas destas empresas japonesas mencionavam, quando muito, que elas fazem uso das mais modernas técnicas de gestão da manufatura, as quais recebem pleno suporte do Gerenciamento pela Qualidade Total (*TQM – Total Quality Management*) e das ferramentas tradicionais da Qualidade (*kaizen, kanban, 5S's e CEP*, para se mencionar somente algumas). Nenhuma informação adicional que fizesse referência especificamente à implementação da Manufatura Enxuta ou à utilização de renomados consultores japoneses, como os da Shingijutsu Co., foi obtida das empresas contactadas, sem que se tivesse tido qualquer oportunidade de se coletar informações não-oficiais sobre este assunto.

5.7 CHINA

Até hoje, como era de se esperar, as fábricas estatais chinesas têm centralizado os seus esforços de manufatura em produção licenciada e atualizações de aeronaves de projeto estrangeiro (obsoletos turboélices russos e *turbofans* americanos). O baixo preço ainda tem alavancado algumas vendas de turboélices mas, na medida em que a indústria aeronáutica tem ficado cada vez mais sofisticada, seus antigos projetos são cada vez menos aceitáveis. Há cerca de dez anos atrás, a esperança de modernização residia na possível venda de centenas de aeronaves MD-80 e MD-90, que seriam fabricadas sob licença na China. Mas as companhias de transporte aéreo chinesas preferiram comprar diretamente de fabricantes europeus e americanos, de maneira que somente 35 destes bimotores, de projeto já ultrapassado, chegaram a ser construídos, tendo sido entregues 33 às frotas chinesas. Diz-se que esta primeira experiência chinesa de fabricação sob licença gerou mais empregos do que produtos. Empregos demais. Um dos objetivos da maciça reestruturação da empresa estatal *AVIC (Aviation Industries of China)*, ocorrida em 1999, era reduzir a quantidade de empregos, pois a indústria contava com cerca de 260.000 trabalhadores, dos quais 50.000 eram engenheiros. Foi com esta mentalidade que se criou, em julho de 1999, a nova empresa *China Aviation Industries Corp.*, dividindo-se a antiga AVIC em duas empresas: AVIC I e AVIC II. As classes de produtos fabricados por estas empresas chegam a se sobrepor, em pequena quantidade, mas a AVIC I tem seu foco no desenvolvimento de aeronaves civis e militares de asa fixa, bem como de motores aeronáuticos. Esta empresa também produz equipamentos aerotransportados, sistemas de controle de fogo, armamentos e toda a aviônica chinesa. A AVIC II dedica-se à manufatura de helicópteros, aeronaves pequenas e de uso agrícola, treinadores militares e veículos aéreos remotamente controlados.

A AVIC I, que abrange 50 companhias estatais, é a maior das duas empresas, operando também 30 das 33 instalações chinesas de pesquisa e desenvolvimento (a

AVIC II opera as três outras restantes). Mas somente metade destas plantas é dedicada à manufatura aeronáutica (a outra metade se dedica à manufatura em geral), sendo que somente 10% da produção da AVIC II é relacionada com a aviação.

A demanda reprimida por jatos regionais de baixo custo na República Popular da China levou os dirigentes da AVIC I a lançarem o desenvolvimento de um jato de transporte aéreo regional, batizado de ARJ21, para a faixa de 70 a 90 assentos. O conceito, revelado pela primeira vez em 2001, no *Beijing Air Show*, representa o mais amplo esforço chinês na construção de uma base de fornecedores internacionais para uma aeronave nativa.

Com custos previstos de desenvolvimento ao redor de 900 milhões de dólares, dos quais o governo chinês deverá arcar com uma parcela significativa, o lançamento deste programa já conta com encomendas de empresas regionais chinesas, como a *Shanghai Aviation Industrial*, a *Shandong Airlines* e a *Shenzhen Financial Leasing*.

Estas encomendas seguramente ajudaram a convencer um número significativo de fornecedores ocidentais de motores, sistemas, equipamentos e instrumentos, sobre a seriedade desta iniciativa, pois os mesmos mantinham-se duvidosos depois da falha da AVIC I em conseguir estabelecer *joint-ventures* com a Airbus e a Daimler Benz para o desenvolvimento de novos jatos regionais.

Destinado a operar nas condições de elevadas temperaturas e altitudes que prevalecem na China ocidental, o ARJ21 (cujo projeto inspira-se claramente naqueles 35 MD-80/90 que a AVIC construiu sob licença da McDonnell Douglas durante as décadas de 1980-1990) apresentará dois motores *turbofans* GE CF34-10A montados na fuselagem traseira (à semelhança do ERJ-145 da Embraer e do CRJ700 da Bombardier), cinco assentos lado-a-lado, um alcance padrão de aproximadamente 2.250km, velocidade de cruzeiro de Mach 0.80, aviônicos ocidentais e uma asa de perfil supercrítico, projetada pelo Escritório de Design Antonov, da Ucrânia. Taxado para gerar aproximadamente 8.400kg de empuxo, o motor da GE ganhou a

concorrência pela propulsão, na qual competiu com o Rolls-Royce BR710, o Pratt & Whitney PW800 e o SM146 proposto pela Snecma.

Um modelo parcial do ARJ21 foi apresentado no *Zuhai Air Show* de novembro de 2002, onde executivos chineses revelaram seus planos de fabricar os componentes maiores desta aeronave nas plantas de Xian, Shenyang e Chengdu, enquanto que a Planta de Manufatura de Aeronaves de Shanghai (*Shanghai Airplane Manufacturing Plant*) assumiria a responsabilidade pelo projeto preliminar, montagem final e administração do programa.

A expectativa dos analistas do mercado aeronáutico, que se baseiam em um crescimento projetado do tráfego aéreo regional anual de 7,1% para a China, é que este país adicione, ao longo dos próximos vinte anos, cerca de 2.400 novas aeronaves às suas frotas de transporte regional (implicando em estimativas de 1.459 jatos de corredor único e 252 jatos regionais de maior porte) – um negócio que representa, segundo as análises mais recentes da Boeing, aproximadamente 197 bilhões de dólares. Desta quantidade estimada de jatos, cerca de 65% da demanda seria por aeronaves de corredor único, como o ARJ21, que a China pretende fazer voar em 2005, entrando em serviço a partir do último trimestre de 2006.

Até o fechamento deste trabalho a Airbus ainda não havia divulgado suas estimativas de crescimento para o mercado chinês.

Segundo informações da Embraer, Jean-Pierre Cojan, vice-presidente para motores comerciais da empresa francesa Snecma, comentou que os chineses têm mostrado considerável tenacidade e consistência em seus esforços para se lançarem no mercado internacional de aeronaves comerciais, primeiramente como parceiros juniores na fabricação de pequenas peças para o projeto McDonnell Douglas MD-80, e depois em *joint-ventures* com os alemães, no MPC-75 ou com a Airbus/Alenia, nos A318/A319. O desenvolvimento da aviação regional e de aeronaves de porte intermediário para servi-la são duas das quatro prioridades mais altas para a aviação

civil chinesa, conforme divulgado no 9º Planejamento de Cinco Anos da Administração da Aviação Civil da China (CAAC – *Civil Aviation Administration of China*).



Fonte: AVIC

Figura 91 – Visão Artística do Jato Regional Chinês ARJ21

5.7.1 A Presença da Boeing na China

Conforme informações da Boeing, a cooperação industrial entre a China e esta empresa teve início em meados da década de 1970, sendo que, hoje em dia, existem mais de 3.300 aeronaves Boeing que, voando por todo o mundo, receberam em sua fabricação peças e subconjuntos fabricados na China.

Durante os últimos 15 anos a Boeing tem mantido na China times residentes de especialistas em manufatura, qualidade, ferramental, engenharia e planejamento, os quais provêm treinamento e assessoria às fábricas que produzem artigos para a Boeing. A ênfase tem sido no treinamento em padrões e normas de classe mundial, para garantir a segurança, a confiabilidade e a qualidade das montagens, a um preço competitivo.

As atuais operações de manufatura subcontratadas pela Boeing às quatro maiores fábricas aeronáuticas chinesas incluem a produção de estabilizadores

horizontais para os 737 na planta de Shanghai, carenagens do estabilizador vertical dos 737 e nervuras do bordo de fuga dos 747 em Xian, estabilizadores horizontais, carenagem do estabilizador vertical e seção da cauda dos 757 na planta de Chengdu, e as portas do compartimento de carga dos 757, além de módulos da seção da cauda dos 737, na planta de Shenyang.

Tendo constituído a empresa Boeing China, Inc., que tem seu escritório principal em Beijing, a empresa conta atualmente com representantes técnicos instalados em várias localidades da China, times de suporte em Beijing e em algumas fábricas selecionadas, um centro de treinamento de pilotos em Kunming, além de centros de peças de reposição e algumas *joint-ventures* em Xiamen e Tianjin. Além destes empreendimentos a Boeing ainda tem escritórios em Hong Kong para suas áreas de Aeronaves Comerciais (*Commercial Airplanes*), Gerenciamento do Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management*), Sistemas Espaciais (*Space Systems*) e Operações de Capital (*Boeing Capital Corporation*).

A Boeing emprega atualmente cerca de cem pessoas na China, localizadas, em sua maioria, nas fábricas e nos escritórios das companhias aéreas.

Expandindo sua cooperação industrial com a China, a Boeing pretende aumentar a cadência de produção para os conjuntos dos modelos 737 que são fabricados em Xian, Shanghai e Shenyang, além de prover suporte ao programa do jato regional chinês ARJ21 por meio do departamento de Contratos Técnicos da Boeing.

5.7.2 A Presença da Embraer na China

A Embraer, tendo assinado um contrato em dezembro de 2002 para a construção de uma unidade industrial na China através de uma *joint-venture* com a *Harbin Aircraft Industry Group Co., Ltd.* e a *Hafei Aviation Industry Co., Ltd.* - companhias controladas pela *China Aviation Industry Corporation II, AVIC II*, tem por

objetivo principal melhor atender ao mercado chinês de aviação comercial com os aviões da família ERJ 135/140/145. Denominada *Harbin Embraer Aircraft Industry Company, Ltd.*, a nova empresa, que é o primeiro empreendimento industrial da Embraer fora do Brasil, tem sede na cidade de Harbin, capital da província de Heilongjiang.

Segundo o Presidente da AVIC II e membro da Academia Chinesa de Engenharia, Dr. Zhang Yanzhong, o desejo do governo chinês é que este programa de cooperação sino-brasileiro estabeleça mais um modelo bem-sucedido de TCDC (*Technical Cooperation among Developing Countries* -cooperação técnica entre países em desenvolvimento), onde a *Harbin Embraer Aircraft Industry Co. Ltd.*, com uma unidade de produção de 24.000m² e empregando até 220 pessoas, será responsável pelas atividades de produção, montagem, vendas e suporte pós-vendas para os aviões da família ERJ 135/140/145. O contrato prevê a produção sob licença de todas as versões da família de jatos regionais, incluindo os ERJ 135, ERJ 140 e ERJ 145 que deverão ser comercializados primariamente no território da República Popular da China, com a entrega da primeira aeronave tendo ocorrido em dezembro de 2003.

O investimento total em capital nesta *joint-venture* foi divulgado pela Embraer como sendo de 25 milhões de dólares, envolvendo também a interligação da *Harbin Embraer Aircraft Industry Co. Ltd.* com o *Beijing Distribution Center*, também implementado pela Embraer e administrado em conjunto com a *China Aviation Supplies Import and Export Corp.* Este centro de distribuição em Pequim tem 750m², estoca mais de 6.000 peças de reposição e está eletronicamente conectado a outros centros de armazenamento no Brasil, Austrália, Inglaterra, França e EUA, permitindo aos clientes a realização de pedidos em tempo real.

5.7.3 Iniciativas *Lean* na Indústria Aeronáutica Chinesa

As informações sobre as iniciativas *Lean* nas fábricas aeronáuticas chinesas foram todas recebidas indiretamente, tendo sido obtidas, em sua maioria, de representantes das empresas Boeing e Embraer, os quais têm estado em contato mais direto com as empresas chinesas graças aos programas de colaboração em desenvolvimento e manufatura estabelecidos entre estas empresas ocidentais e algumas plantas fabris chinesas.

Analizando-se as informações obtidas de representantes da Embraer se pode perceber que quaisquer iniciativas para a implementação de um moderno centro de manufatura de aeronaves na China automaticamente implicarão na difícil adaptação do Sistema de Manufatura Enxuta, adotado corporativamente pela Embraer, às condições inicialmente adversas que têm sido encontradas nos ambientes de manufatura chineses. Um dos fatores mais conflitantes com as práticas de *Lean Manufacturing* se refere ao intensivo emprego de mão-de-obra direta nas operações das plantas chinesas de fabricação aeronáutica. Apresentando características inerentes ao sistema político vigente no país, as fábricas aeronáuticas chinesas têm, até o presente momento, seguido rigorosamente o que se espera de todas as corporações estatais de países comunistas: não objetivando a geração de lucro, pois não se tratam de empreendimentos capitalistas, uma das principais funções destas empresas é gerar empregos para a parte da população que se propõe a deixar o campo e aprender a realizar trabalhos industriais. Assim sendo, o maciço emprego de mão-de-obra direta, extremamente barata e capaz de realizar as tarefas de pequena e média complexidade exigidas pelos processos mais tradicionais da manufatura aeronáutica, somado-se às dificuldades de treinamento e capacitação devido às barreiras do idioma, pode implicar que muito pouco da filosofia de Manufatura Enxuta seja efetivamente empregado nas operações a curto e médio prazos da Harbin Embraer, onde as práticas de identificação e eliminação de desperdícios (outros que

não os de superprodução, de geração de produtos defeituosos e de manutenção de estoques desnecessários), aliadas à modernização dos processos de manufatura, certamente conduziram à uma grande e rápida redução do efetivo. Corroborando esta análise tem-se a informação que a Boeing pratica, para todas as suas operações de manufatura subcontratadas às fábricas chinesas, a efetiva programação da produção e o planejamento de embarque de peças e subconjuntos por meio do Sistema MRP. Portanto, classifica-se como elogiável a decisão estratégica da Embraer ao anunciar que, conforme já se mencionou neste trabalho, a programação inicial para a Harbin é bastante conservadora, não se tendo como prioridade a cadência de produção.

5.8 RUSSIA

O Antonov An-148, a primeira aeronave Antonov que fará pleno uso das tecnologias de CAD/CAM, começou a tomar forma em outubro de 2002, quando o escritório de projetos ucraniano deu início à montagem da primeira fuselagem. Em abril de 2003, menos de seis meses depois, a companhia removeu a seção já terminada de seu gabarito de montagem para prosseguir com a produção planejada da primeira estrutura, programando-se o primeiro voo para o início de 2004. O primeiro protótipo, que recebeu uma nova configuração de asa alta e dois motores *turbofans* ZMKB Progress D436-148, fabricados pela empresa russa Motor Sich, poderá receber sua certificação na Comunidade de Estados Independentes (*CIS – Commonwealth of Independent States*), antiga União Soviética, ao final de 2004, entrando em serviço com o seu *launch customer*, a cargueira russa Volga-Dnepr, no início de 2005.

Oficialmente apresentado ao ocidente na Feira Aérea de Farnborough de 2003 como uma *joint-venture* das empresas Antonov, Motor Sich (fabricante de motores) e Ulan-Ude (fabricante de estruturas aeronáuticas), o An-148 compreenderá três variantes de tamanho, oferecendo de quarenta a cem assentos, tendo uma velocidade

de cruzeiro de 830km/h a uma altitude de 12.500m. A configuração básica, de 75 a 80 assentos, terá um alcance de aproximadamente 2.500km.

Sob o acordo de *joint-venture* a montagem das aeronaves se dará na Rússia, na Planta de Aviação da Ulan-Ude (UUAZO), e na Ucrânia, pela *Kharkov State Aviation Production Company (KhGAPP)*, que também participa nos trabalhos de projeto, além de fornecer para a fábrica experimental da Antonov, em Kiev, produtos como as seções da fuselagem central, as asas, os pilones e as naceles dos motores, enquanto a planta Aviant, localizada em Kiev, é responsável pela fabricação das empenagens, das janelas e das portas, e a fábrica de foguetes YuzhMash fornece os trens de pouso e os painéis absorventes de ruído para as naceles dos motores (utilizando materiais desenvolvidos originalmente para os veículos lançadores de satélites).

A Antonov tem buscado atingir um preço de venda cerca de 40% inferior ao praticado pelos fabricantes ocidentais de aeronaves de capacidade similar, além de tentar obter custos diretos de operação que sejam de 25 a 30% mais baixos do que aqueles estabelecidos para o EMBRAER 170.

O programa de certificação do An-148 irá empregar dois protótipos voáveis e uma estrutura para ensaios no solo.



Fonte: Antonov

Figura 92 – Maquete do Jato Regional An-148

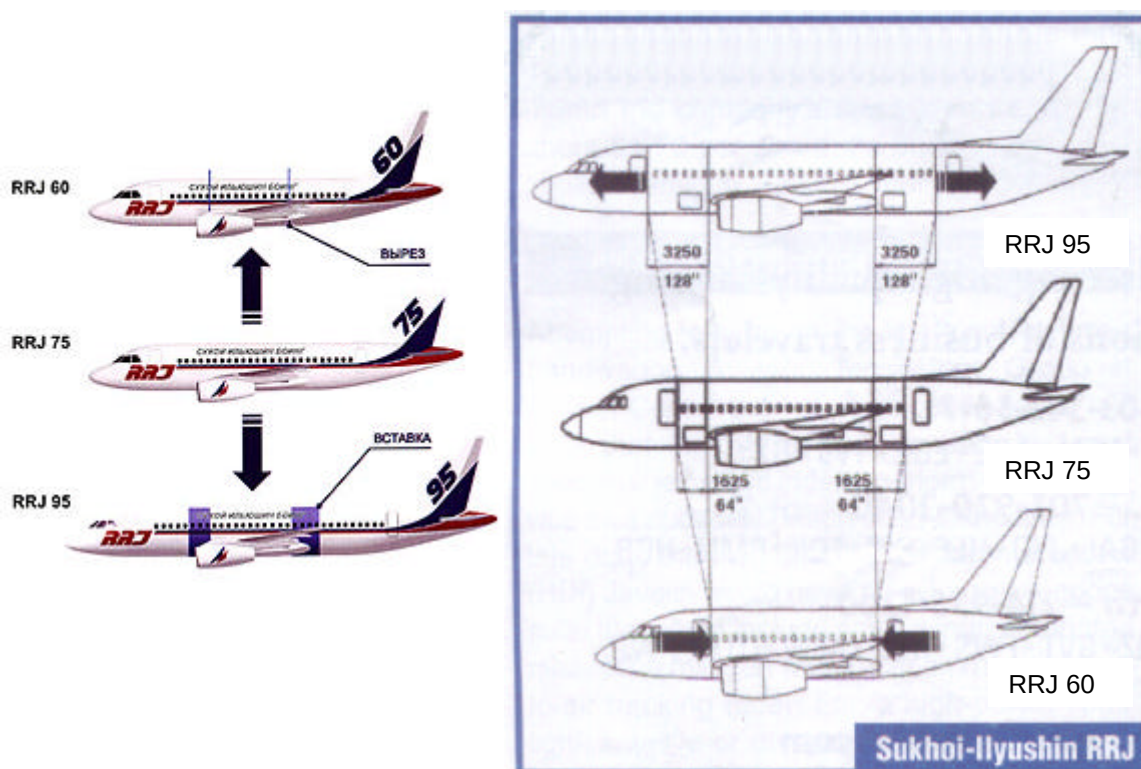
Por outro lado, o Programa RRJ (*Russian Regional Jet* – Jato Regional Russo), liderado pela Sukhoi, aguardava aprovação para decolar em julho de 2002, mas dependia muito da Boeing, na medida em que a empresa americana reavaliava a sua participação no projeto, restrita, até então, a compartilhar sua experiência em *marketing* e projeto de aeronaves com os seus parceiros russos.

Tendo iniciado seus estudos sobre um jato regional em 2000, a Sukhoi tentou, inicialmente, estabelecer uma *joint-venture* com a companhia americana Alliance Aircraft, mas logo percebeu que precisaria de um parceiro estrangeiro de “maior peso” para tornar seu projeto um sucesso, tanto em termos de mercado doméstico quanto internacional. Phil Condit, *chairman* e CEO da Boeing, mencionou pela primeira vez a possibilidade de unir esforços com a Sukhoi durante uma visita à Rússia, em abril de 2001. Mais tarde, naquele mesmo ano, durante o Paris Air Show, a Boeing assinou uma carta de intenção (*letter of intent*) com a Sukhoi, a Ilyushin e a Yakovlev, tendo a Sukhoi assumido a liderança do projeto em agosto de 2001. A Boeing concordou em compartilhar sua experiência em desenvolvimento de aeronaves, manutenção e certificação norte-americana, tendo também se comprometido a ajudar no *marketing* internacional e no suporte pós-vendas. Em dezembro de 2001 os parceiros completaram um estudo conjunto de mercado e um plano de negócios, os quais indicavam o lançamento para meados de 2002 (no entanto, ainda em 2003, o RRJ aguardava a atração do suporte financeiro necessário para obter sua certificação, uma das exigências do próprio governo russo para garantir seu subsídio ao projeto).

No início de abril de 2002 uma sessão conjunta de trabalhos em grupo aconteceu em Seattle, envolvendo mais de 50 especialistas da Sukhoi, da Ilyushin, da Boeing e da companhia russa de investimentos Troika-Dialog. Àquele tempo ocorreu a primeira sessão do conselho técnico do RRJ, onde foram detalhadas as especificações técnicas e corrigidos os prognósticos de mercado à luz dos recentes dados dos centros de vendas da Boeing e das respostas das companhias aéreas

russas à proposta do consórcio, conforme informado por Andrei Ilyin, diretor geral da Divisão de Aeronaves Civas da Sukhoi. Durante esta reunião a Sukhoi também apresentou o projetista-chefe indicado para o projeto, Yuri Ivashechkin, que dirigiu anteriormente os programas da aeronave de ataque Sukhoi Su-25 e do bimotor turboélice MiG-110. Foi informado que esta reunião em Seattle permitiu que os parceiros partilhassem suas visões sobre a forma do RRJ, tendo se concordado em seguir o conceito de família, com o RRJ-75, de 75 assentos, vindo primeiro, seguido pelo encurtado RRJ-55 e, depois, pelo alongado RRJ-95, todos compartilhando a mesma asa e os mesmos aviônicos, sistemas e motores.

Os parceiros do programa RRJ pretendem fazer com que o primeiro voo do RRJ-75 ocorra em 2006, seguido pela entrada em serviço no início de 2007.



Fonte: Sukhoi

Figura 93 – A Família Sukhoi-Ilyushin RRJ

5.8.1 Iniciativas *Lean* na Indústria Aeronáutica Russa

Primeiramente faz-se necessário enfatizar que a base da indústria aeronáutica russa era a mesma que a atual chinesa: fábricas estatais que não objetivavam gerar lucro, mas sim dar emprego e fornecer armamento de alto nível para que o Estado Soviético pudesse manter a sua soberania e defender o regime comunista. A disponibilidade de mão de obra barata realmente existia, mas não em tão grande quantidade quanto na China.

Anos de isolamento, para o que muito contribuiu a famosa “cortina de ferro”, resultaram em grandes plantas fabris, povoadas de máquinas e equipamentos obsoletos, operados por trabalhadores pouco especializados ou capacitados, segundo instruções de processos antiquados.

Os maquinários adquiridos (comprados ou emprestados dos Países Aliados) durante a Segunda Guerra Mundial foram reproduzidos em larga escala durante a Guerra Fria e, mesmo tendo sofrido *upgrades* ou recebido atualizações, ainda consistem em uma grande e obsoleta parcela da base do parque fabril russo (prensas hidráulicas, tornos, fresadoras, rebidadeiras manuais e instrumentos de medição, dentre outros).

Como a produção das fábricas russas servia principalmente para atender a demanda interna, além de ser exportada para os países satélites ou parceiros de negócios ou de ideologia, a cadência de produção era marcadamente “empurrada”, adequando-se totalmente aos Planos de Fabricação do governo comunista.

Diferente do que ocorre na China, cuja próspera economia não tem sido motivo de grande pressão para a eliminação de desperdícios, a indústria aeronáutica russa tem buscado intensamente minimizar os seus custos e reduzir as suas perdas, pois os recursos disponíveis têm se mostrado tão escassos que até mesmo a manutenção de

programas aeronáuticos existentes não tem recebido verbas suficientes para evitar demissões e o fechamento de plantas fabris e escritórios de projetos, além do elevado índice de evasão de especialistas e cientistas aeronáuticos para os países ocidentais.

Enfim, segundo as informações disponíveis utilizadas neste trabalho, na Rússia é reconhecida a necessidade de se tornar *Lean*, o que contribui para se buscar o auxílio de especialistas ocidentais que possam treinar os dirigentes e os empregados russos na implantação das práticas de Manufatura Enxuta. Entretanto, a grande limitação imposta pelos equipamentos obsoletos e processos ultrapassados, conjugada com a barreira do idioma e a escassez de recursos para investir na reforma do parque fabril e na adequada capacitação da mão-de-obra disponível, faz com que o ritmo de todas as etapas necessárias para a execução da transformação para o Estado Enxuto seja extremamente lento, com pequenos avanços intercalados por grandes períodos de estagnação.

A grande necessidade que as fábricas aeronáuticas estatais dos países comunistas tem manifestado de começarem a colocar os seus produtos no rico mercado ocidental tem, no entanto, esbarrado com fatores de difícil e onerosa solução: O que fazer com seus grandes estoques de peças, equipamentos, instrumentos e até mesmo matéria-prima, que representavam solidez, segurança e riqueza na época dos grandes dirigentes soviéticos, mas que hoje não resultam em aeronaves ou produtos que consigam cumprir os mínimos requisitos de segurança e de certificação, ou que atinjam os níveis mínimos de desempenho exigidos pelas companhias aéreas ocidentais? Como resolver seus problemas de obsolescência de maquinário e equipamento se não conseguem gerar recursos com a venda de suas aeronaves e já não podem mais contar com as verbas governamentais?

As informações recebidas em resposta aos contatos efetuados durante a pesquisa deste trabalho indicam que a solução talvez esteja no estreitamento das

relações das fábricas russas com as empresas ocidentais. A Boeing, citada como um bom exemplo, tem uma longa história de cooperação na Rússia, tendo investido mais de 1,3 milhões de dólares em programas de cooperação com a indústria aeroespacial nos últimos dez anos. A empresa norte-americana tem em Moscou um Centro de Investigação Técnica e de *Design*, onde profissionais russos trabalham em parceria com técnicos norte-americanos no desenvolvimento de projetos para a Boeing, que, conforme já mencionado neste trabalho, atua como consultora estratégica da Sukhoi no desenvolvimento do projeto RRJ (*Russian Regional Jet*).

Referindo-se especificamente à Manufatura Enxuta foi também obtida uma relevante informação durante esta pesquisa: especialistas ingleses estão treinando representantes de várias plantas fabris russas nas práticas de simulações em *Lean Manufacturing*. Em meados de 2003, quatro especialistas da Universidade de Kentucky, com grande experiência na filosofia de *lean* de produção, deslocaram-se até Moscou para integrarem um time que conduz simulações de transição de ambientes industriais com o uso intensivo das práticas *lean*, ajudando a administração local a se tornar mais eficiente e produtiva.

O Centro de Manufatura da Faculdade de Engenharia da Universidade de Kentucky, na Inglaterra, enviou os especialistas em *Lean Manufacturing* Dave MacDuffee e David Veech, além do palestrante Jim Price e do facilitador/intérprete Bill Cooper ao Centro para o Desenvolvimento das Técnicas de Negócios (*Center for Business Skills Development*), em Moscou, com a missão de conduzir simulações em computador sobre a implementação das práticas de Manufatura Enxuta durante várias sessões de treinamento que ocorreram naquele período. É digno de nota que os materiais didáticos tenham sido preparados todos nos idiomas inglês e russo, para superar a barreira da diferença de idiomas, tendo sido também utilizados extensivamente os serviços de tradutores técnicos.

6 CONCLUSÕES

Como se pôde avaliar ao estudar-se, nos capítulos anteriores, os resultados obtidos pelos principais fabricantes de aeronaves no competitivo mercado global do transporte aéreo regional, a antiga Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), agora revestida de importância vital e ampla abrangência corporativa, passa reconhecida como Estratégia de Negócios das principais indústrias aeronáuticas do mundo.

Podendo ser qualificada atualmente como uma Filosofia de Manufatura e Empreendimento Corporativo, a Mentalidade Enxuta, tenazmente perseguida pelas companhias que valorizam a importância de serem reconhecidas mundialmente como Empresas Enxutas, ou *Lean Enterprises*, tem o seu mérito comprovado principalmente ao servir de base comum para que os dois maiores fabricantes de aeronaves da atualidade, a Boeing e a Airbus, reformulem completamente as suas estratégias de manufatura, buscando maior competitividade gerada pelo melhor Fluxo do Valor, apesar de adotarem formas radicalmente diferentes (antagônicas mesmo) de agregarem Valor aos seus produtos.

De muito menor porte que as duas corporações mencionadas acima, mas valendo-se da grande agilidade característica deste fato, o que se tem aliado à sua maior precisão na avaliação das condições e das respostas do mercado extremamente sensível da aviação regional, a brasileira Embraer também segue adotando os Princípios *Lean* em suas atividades de Logística e de Manufatura, reconhecendo sua importância estratégica e incorporando a Mentalidade Enxuta nas Estratégias de Negócio da Corporação. O sucesso obtido na transformação de suas operações para o Estado Enxuto tem sido tão grande que a Embraer é mencionada, nas pesquisas de renomados especialistas da aviação e de estudiosos do mercado aeronáutico internacional, como sendo uma das três empresas que ainda estarão competindo no mercado da aviação regional na década de 2020.

A simplicidade e a eficiência da Mentalidade Enxuta, que têm, como já se mencionou neste trabalho, um dos seus princípios estruturais na estratégia de zero-estoques, cuja aplicação mais intensiva leva ao alinhamento (linearização) do processo de fabricação, gera o grande salto evolutivo representado pela lógica do Fluxo de Uma Única Peça que avance por operações incrementais, a mesma incorporada na linha de montagem de concepção fordista, que agora tende a ser estendida a todo o processo corporativo, incluindo os estágios iniciais de concepção e se prolongando pela assistência pós-venda, onde cada cliente é tratado como se fosse o único.

A importância da incorporação dos Princípios *Lean* é enfatizada, em maior ou menor grau, em todos os resultados obtidos junto às Principais Indústrias Aeronáuticas respondentes à pesquisa efetuada, caracterizando-se a Manufatura Enxuta como sendo, de fato a Ferramenta mais indicada para atingir-se uma condição de grande (1) flexibilidade, com a eficaz (2) eliminação de desperdícios (adequadamente localizados e monitorados por meio dos Mapas do Fluxo do Valor, refletindo-se diretamente na redução dos Custos Envolvidos), conseguindo-se a tão almejada (3) otimização do desempenho dos mais variados setores da empresa (principalmente da área de manufatura), adquirindo-se um inigualável (4) controle dos processos, o qual é obtido, principalmente, com uma racional e respeitosa (5) utilização das pessoas.

Seguramente se pode afirmar que a Implementação do Sistema de Empresa Enxuta (*Lean Enterprise*) é a chave da sobrevivência das Indústrias Aeronáuticas voltadas à fabricação de aeronaves para o transporte aéreo regional, permitindo-as enfrentar, com sua extrema afinidade com os clientes e sua grande capacidade de resposta imediata, todos os desafios que possam se afigurar no instável panorama estratégico-global da atualidade.

Resta aqui a sugestão do autor de que se possa fazer uso de um tema para futuros trabalhos: crê-se que seja de interesse acadêmico e profissional a execução de

uma pesquisa mais estruturada, com maior prazo para resposta e que, idealmente, possa superar as barreiras de idioma ao ser redigida em japonês e em inglês, sobre a adoção da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) nas indústrias japonesas dedicadas ao desenvolvimento e fabricação de aeronaves ou suas peças e componentes, pois os inconclusivos resultados obtidos nesta parte da pesquisa permanecem como um desafio à lógica esperada da sabedoria oriental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, E.M. *Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia*. Revista de Economia Política, vol.16, nº 3 (63), Julho - Setembro 1996.

Aviation Week & Space Technology, *Prime Contractor & Major Manufacturer Profiles: Américas / Europe / Israel / Japan / Russian Federation / Northeast Asia*", edição 2002 Aerospace Source Book, 14 de janeiro de 2002.

BERGGREN, C. *Alternatives to Lean Production*. ILR Press, Ithaca, NY, 1992.

BERNARDES, R. *EMBRAER: elos entre estado e mercado*. Hucitec, Fapesp, 2000.

BERNARDES, R. *O Arranjo Produtivo da Embraer na Região de São José dos Campos – Relatório Técnico* - SEADE, 2000.

BISHOP, E. *Mosquito – o caça maravilhoso*. Editora Renes Ltda., Rio de Janeiro, 1977.

CABRAL, A.S.; BRAGA, C.A.P. *O Estado e o desenvolvimento tecnológico da indústria aeronáutica brasileira*, Texto de discussão, nº 23, FEA/USP, 1986.

CABRAL, A.S. *Análise do Desempenho Tecnológico da Indústria Aeronáutica Brasileira*, Tese de Doutorado, POT, ITA, 1988.

CLARKE, K.B. & FUJIMOTO, T. *Product Development Performance Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School Press, Cambridge, MA, 1991.

CONTADOR, J.C. *Gestão de Operações – A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa*. 2ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1997.

CORREA, H.L.; GIANESSI, I.G.N. *Just in Time, MRPII e OPT - Um Enfoque Estratégico*. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

COUTINHO, L. & FERRAZ, J.C. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. São Paulo: Papirus, 1994.

CUSUMANO, M. A. *The limits of lean*. Sloan Management Review, summer 1994.

DAGNINO, R. *A Indústria de Armamentos Brasileira: uma Tentativa de Avaliação*, Tese de Doutorado, Instituto de Geociências - UNICAMP/IG, 1987.

DAGNINO, R. *A Indústria Aeronáutica*. ECIB - Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira. Nota Técnica Setorial - Campinas. IE / Unicamp / MCT / FINEP / PACDT, 1993.

DURAND, J.P. et al. *Teamwork in the Automobile Industry. Radical Change or Passing Fashion?*, London: Macmillan, 1999.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Pioneira – Editora Guazzelli Ltda. Divisão da Thomson Learning, Inc., 2001.

GORDON, T. *The underlying fallacies of lean and mean, The Ironbridge group, USA*, BPICS CONTROL, 1995.

HARRISON, A. *Just-in-Time Manufacturing in Perspective*, Prentice-Hall, London, 1992.

HILL, T. *Manufacturing Strategy – The Strategic Management of the Manufacturing Function*. Macmillan, 1993.

JINA, J., BHATTACHARYA, A.K. & WALTON, A.D. *High product variety and low volumes: a challenge for lean manufacturing*. 28th ISATA Conference, Stuttgart, September 1995.

JONES, D.T. *Managing lean processes and lean logistics*. Logistics Technology International, 1994.

KOSKELA, L. *Application of the New Production Philosophy in Construction*. Technical Report 72. Technical Research Centre of Finland, 1992.

KRAFCIK, J.F. *Triumph of the lean production system*. Sloan Management Review, Vol. 30 No. 1, 1988.

LAMMING, R. *Beyond Partnership – Strategies for Innovation and Lean Supply*. Prentice-Hall, London, 1993.

LINDGREN, P.C.C. *Implementação do Sistema de Manufatura Enxuta (Lean Manufacturing) na Embraer*. Tese de MBA, UNITAU – Universidade de Taubaté, 2001.

McDonnell Douglas – Bigger & Better, Flight Magazine, February 1995.

MENDONÇA, M. *Incentivos ao Adensamento da cadeia produtiva da Embraer - relatório final*. Dezembro, 1997.

MEYER, M.; LEHNERD, A. *The Power of Product Platforms – Building Value and Cost Leadership*. The Free Press, New York, 1997.

MONDEN, Y. *Toyota Production System*. Norcross, GA, 1983.

MOURA, R. A. *Kanban – A Simplicidade do Controle da Produção*. Instituto IMAM, 1994.

PASQUALUCCI, E. *Relacionamento entre institutos de pesquisa e empresas industriais em São José dos Campos: O caso do setor aeroespacial*. São José dos Campos, INPE, 1986.

ROTHER, M.; SHOOK, J. *Learning to See*. The Lean Enterprise Institute, 1998.

SKINNER, W. *Manufacturing – missing link in corporate strategy*. Harvard Business Review, May-June, 1969.

TAYLOR *The Principles of Scientific Management*. Harper Bros, New York, NY.

VERGARA, S. C. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. São Paulo: Editora Atlas, 2000, ISBN 85-224-2623-6.

VOSS, C.A. *Management & New Production Systems*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14 No. 3, 1994.

VOSS, C.A., CHIESA, V. & CAUGHLAN, P. *Developing and testing benchmarking in self-assessment frameworks for manufacturing*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14 No. 3, 1994.

WATSON, G. H. *Benchmarking estratégico*. São Paulo: Makron, 1994.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. *A Máquina que Mudou o Mundo*. São Paulo: Editora Campus, 1992, ISBN 85-7001-742-1.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. *Lean Thinking*. Editora Simon & Schuster, 1996, ISBN 0-684-81035-2.

ANEXO 1 - QUESTIONÁRIO SIMPLIFICADO

O propósito desta pesquisa é coletar informações sobre a implementação do Sistema *Lean Manufacturing* em sua unidade de negócios ou organização, incluindo também informações sobre sua base de clientes, estrutura organizacional, filiação corporativa ou organizacional, estrutura gerencial, empregados e dados financeiros.

- Como se optou pela implementação do Sistema de Manufatura Enxuta na sua empresa? O que motivou a sua empresa a buscar a incorporação deste Sistema?
- Quais foram as características gerais do Plano de Implementação e quanto tempo foi estimado para cada fase?
- Em linhas gerais, como foi realizada a capacitação dos orientadores e a efetiva implementação do Sistema de Manufatura Enxuta?
- Esta implementação se deu de forma generalizada ou foi selecionada, inicialmente, uma área-piloto?
- Se abrangida no Plano de Implementação, quais foram os resultados obtidos na Área de Desenvolvimento de Produtos (Projetos, Qualificação de Materiais e Fornecedores, Ensaios no Solo e em Vôo, Transição para a Manufatura)?
- Como foi abordada a implementação do sistema junto aos trabalhadores das áreas atingidas?
- Quais foram os indicadores selecionados para avaliar o sucesso da implantação?
- Quais foram os principais problemas encontrados durante a implantação? Quais foram as medidas corretivas e preventivas adotadas para a solução destes problemas?
- Quais foram os resultados obtidos? Estes resultados corresponderam àqueles teoricamente esperados na incorporação dos conceitos de Manufatura Enxuta?
- Como foi tratada a eventual redução da necessidade de mão-de-obra nas áreas onde o Sistema de Manufatura Enxuta foi implementado?

- Como foram tratadas as incompatibilidades entre os princípios *lean* e as características das Logísticas Interna e Externa dos fabricantes aeronáuticos?
- Como se deu a implantação dos conceitos de Manufatura Enxuta nos Programas e/ou Processos em que a sua empresa opera com Parceiros, Nacionais e/ou Internacionais?
- Baseando-se nos resultados atingidos, o que se poderia ter feito para obter resultados melhores? Quais foram as principais lições aprendidas?
- Qual é o estágio atual da incorporação dos conceitos do Sistema de Manufatura Enxuta em sua empresa? Qual é a importância atribuída a estes conceitos no Planejamento Estratégico da sua empresa?

Agradecemos a sua atenção em responder a esta pesquisa. Solicitamos a gentileza de enviar as suas respostas por e-mail (preferencialmente, dada a urgência da conclusão do trabalho), ou por correspondência regular, remetendo-a para:

Paulo Cesar C. Lindgren
Professor Assistente
R. Archanjo Banhara, 661 – Jd. Santana
Tremembé, SP
BRASIL
CEP: 12120-000
Tel: (55) 12 3913-6169
Fax: (55) 12 3941-4766
e-mail: paulo.lindgren@uol.com.br

ANEXO 2 – Norma SAE J4000 – Identificação e Medição das Melhores Práticas na Implementação da Operação Lean – Prática Recomendada pela SAE (*Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation – SAE Recommended Practice*)

43 Manufacturing Technology

IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF BEST PRACTICE IN IMPLEMENTATION OF LEAN OPERATION —SAE J4000 AUG1999

SAE Recommended Practice

Report of the SAE Lean Manufacturing Committee approved August 1999.

1. **Scope.** SAE J4000 is a tool to identify and measure best practice in the implementation of lean operation in a manufacturing organization. Implementation of lean operation is defined as the process of eliminating waste exhibited in an organization's value stream. Best practice in this process is Level 3 conduct as described in the standard's component statements. A description of the levels of implementation is:

- Level 0The component is not in place at all or there are major inconsistencies in implementation.
- Level 1The component is in place but there are minor inconsistencies in implementation.
- Level 2The component is fully in place and effectively implemented.
- Level 3The component is fully in place, effectively implemented and exhibits improvement in execution over the past 12 months.

A procedure for evaluation and scoring of each component will be included in the SAE J4001 Implementation of Lean Operation User Manual.

2. References

2.1 **Applicable Publication.** The following publication forms a part of this specification to the extent specified herein. Unless otherwise indicated, the latest version of SAE publications shall apply.

2.1.1 SAE PUBLICATION. Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

SAE J4001—Implementation of Lean Operation User Manual

2.2 **Related Publications.** The following publications are provided for information purposes only and are not a required part of this document.

2.2.1 SAE PUBLICATION. Available from SAE 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

SAE AS9000 Aerospace Standard

2.2.2 ISO PUBLICATION. Available from ANSI, 11 West 42nd Street, New York, NY 10036-8002.

ISO 9001:1994, Section 4 Quality System Standard

2.2.3 OTHER PUBLICATIONS

The Toyota Production System, International Public Affairs Division and Operations Management Consulting Division, Toyota Motor Corporation; Copyright Toyota Motor Corporation, 1992

KANBAN Just-in-Time at Toyota, Management Begins at the Workplace, Edited by Japan Management Association, English translation; Copyright Productivity Press, 1989

Industrial Engineering Handbook, H.B. Maynard, Editor-in-Chief, Copyright McGraw-Hill, 1963

LEAN ENTERPRISE MODEL (Top Level Architecture), Version 1.0; Copyright Massachusetts Institute of Technology, 1997

J. Each component statement is associated with one of six implementation elements:

- Element 4 Management/Trust
- Element 5 People

- Element 6 Information
- Element 7 Supplier/Organization/Customer Chain
- Element 8 Product
- Element 9 Process/Flow

Each component weighs equally. An element's relative importance to successful organizational lean implementation is reflected in the number of component statements testing that element.

4. Management/Trust

4.1 Continuous progress in implementing lean operating methods is the organization's primary tool in pursuing its strategic objectives.

4.2 Structured policy deployment techniques are used to plan the organization's lean deployment actions.

4.3 Lean progress targets are defined and have been effectively communicated.

4.4 Knowledge of the philosophy and mechanics of lean operation has been obtained and effectively communicated.

4.5 The organization's senior managers are actively leading the deployment of lean practices.

4.6 Lean progress is reviewed by senior management against planned targets on a regular basis.

4.7 Meaningful incentives that reward organizational lean progress are in place.

4.8 Individual managers' performance is evaluated and rewarded relative to lean progress.

4.9 A non-blaming, performance oriented, process-driven organizational atmosphere exists.

4.10 There is regular, direct personal involvement by senior managers with the operating workforce concerning lean practices.

4.11 Consistent policy for disposition of individuals made surplus by lean progress is in place and followed.

4.12 No employee has reason to perceive their livelihood to be jeopardized by contributing to organizational lean progress.

4.13 Management has chosen to adhere to lean principles in the face of short term operating objectives inconsistent with lean progress.

5. People

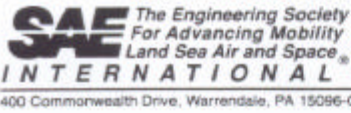
5.1 Adequate training resources are provided and paid employee training time is made available.

5.2 The training syllabus includes training in the lean-specific tools and measurables suitable to the organization's needs, at all levels within the organization.

5.3 Training is conducted as scheduled, records of training are kept and training effectiveness is regularly evaluated.

5.4 Organization is structured to correspond to the structure and sequence of the value chain through the enterprise.

**ANEXO 3 – Norma SAE J4001 – Implementação da Operação Lean –
Manual do Usuário (Implementation of Lean Operation User Manual)**

 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001	SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE	SAE J4001	ISSUED NOV1999
Submitted for recognition as an American National Standard		Issued 1999-11 Research Library & Information Services	
Implementation of Lean Operation User Manual		MAY - 7 2001 Copy _____ Shelf _____	

1. Scope—SAE J4001 provides instruction for evaluating levels of compliance to SAE J4000. Component text (Sections 4 to 9) from SAE J4000 is included for convenience during the evaluation process. Applicable definitions and references are contained in SAE J4000.

SAE J4000 tests lean implementation within a manufacturing organization and includes those areas of direct overlap with the organization's suppliers and customers. If applied to each consecutive organizational link, an enterprise level evaluation can be made. SAE J4001 relates the following approximate topic percentages to the implementation process as a whole:

Element 4	Management/Trust	25%
Element 5	People	25%
Element 6	Information	}
Element 7	Supplier/Organization/Customer	
Element 8	Product	
Element 9	Process/Flow	25%

25% (combined)

SAE J4001 is to be applied on a specific component basis. Each of the fifty-two components tests part of, one, or multiples of the specific requirements of lean implementation. Implementation throughout an organization may be measured by evaluating all of the components. The level of compliance for each component relative to best practice may be used as a reference by an organization to compare itself to current best practice in establishing lean operation. Examples of current best practice are available in SAE publication RR003, Automotive Lean Enterprise Conversion Best Practice Examples.

An organization may evaluate only selected components without affecting validity of results.

2. References

2.1 Applicable Publications—The following publication forms a part of this specification to the extent specified herein. Unless otherwise indicated, the latest version of SAE publications shall apply.

2.1.1 SAE PUBLICATION—Available from SAE, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096-0001.

SAE RR003—Automotive Lean Enterprise Conversion Best Practice Examples
 SAE J4000—Identification and Measurement of Best Practice in Implementation of Lean Operation

SAE Technical Standards Board Rules provide that: "This report is published by SAE to advance the state of technical and engineering sciences. The use of this report is entirely voluntary, and its applicability and suitability for any particular use, including any patent infringement arising therefrom, is the sole responsibility of the user."

SAE reviews each technical report at least every five years at which time it may be reaffirmed, revised, or cancelled. SAE invites your written comments and suggestions.

TO PLACE A DOCUMENT ORDER: (724) 776-8770 FAX: (724) 776-0790
 SAE WEB ADDRESS <http://www.sae.org>

Copyright 1999 Society of Automotive Engineers, Inc.
 All rights reserved.

Printed in U.S.A.

É expressamente proibido qualquer tipo de reprodução desta obra, tanto para fins de estudo e pesquisa quanto para fins comerciais, sem a prévia autorização específica do autor.

Paulo Cesar Corrêa Lindgren

e-mail: paulo.lindgren@uol.com.br

Taubaté, fevereiro de 2004